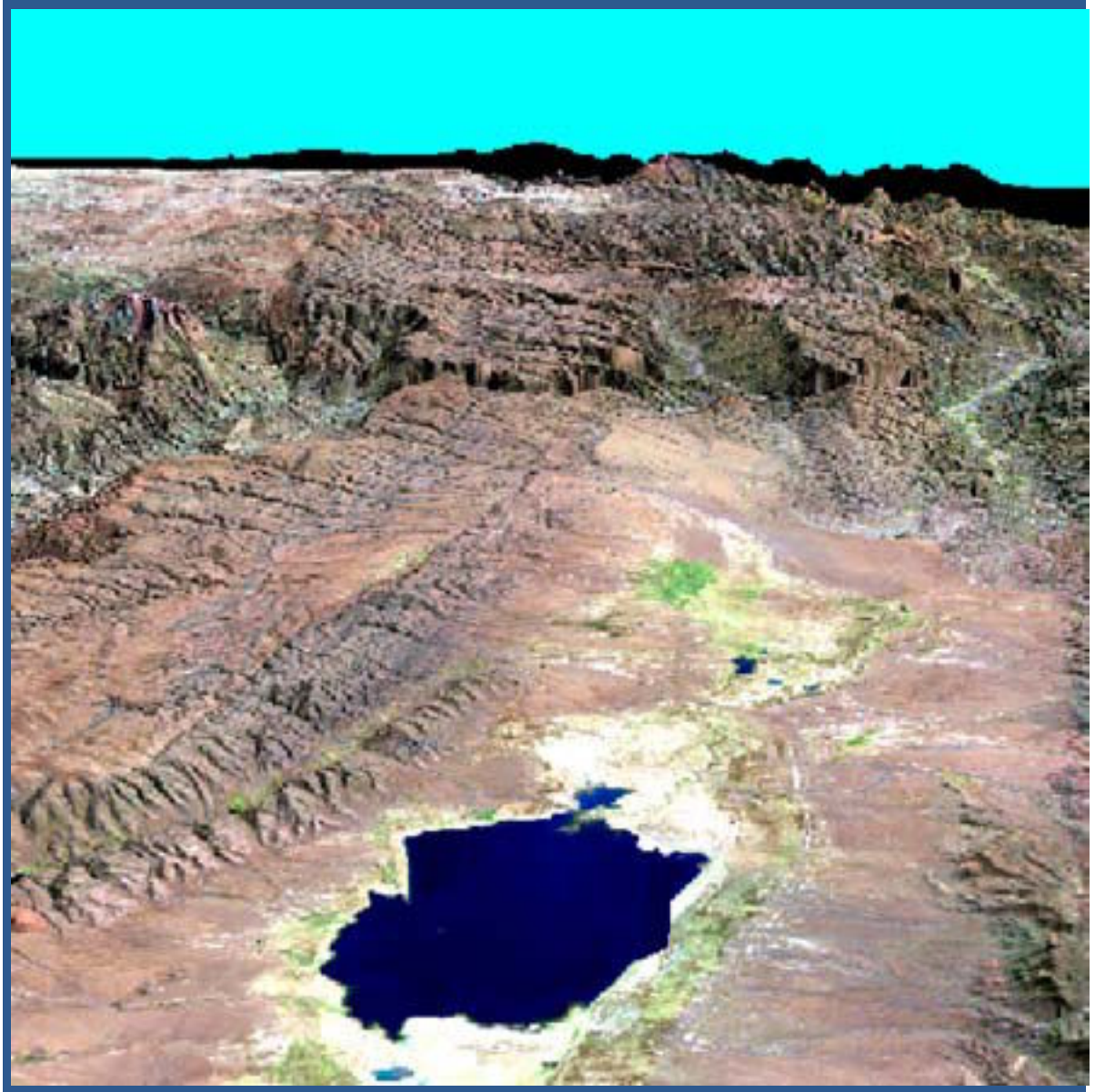
EDICIÓN ESPECIAL: Seminario Internacional "La tecnología satelital de observación de la tierra en la evaluación, monitoreo y manejo de desastres naturales en la agricultura. Retos y perspectivas"

Edición Especial Vol.2 Diciembre 2010 ISSN 0717-2915

Revista Journal SELPER



Jujuy - Argentina

Imágen de satélite Landsat 5 TM

REVISTA JOURNAL

SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE PERCEPCION REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACION ESPACIAL • SOCIEDADE LATINO-AMERICANA EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ESPACIAI • LATINAMERICAN SOCIETY ON REMOTE SENSING AND SPACE INFORMATION SYSTEM

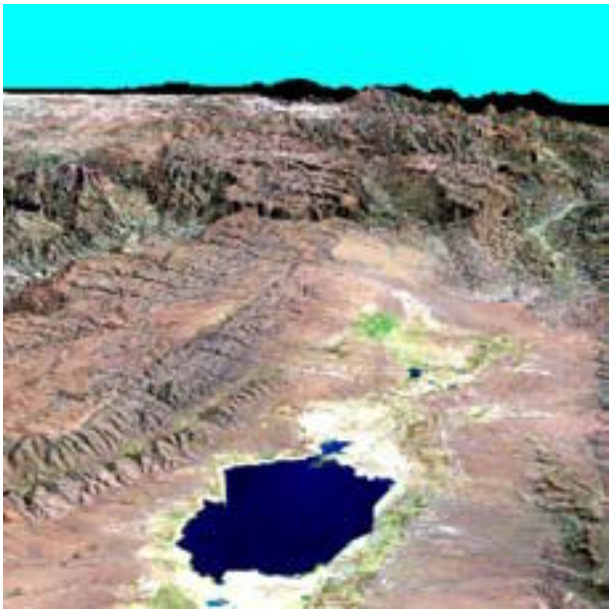
SELPER

Edición Especial Vol.2 Diciembre 2010 ISSN 0717-2915

FOTO PORTADA

Jujuy - Argentina

Imagen de satélite Landsat TM, en 3D, resolución espacial 30 metros, en composición Falso Color (5,4,3 / RGB) de la Laguna de Pozuelos, Jujuy. Está situada sobre una planicie a 3.600 m de altura y constituye uno de los humedales más importantes a nivel internacional, incluida en la lista de la convención de Ramsar. Esta es una laguna permanente pero de salinidad fluctuante.



EJEMPLAR DE DISTRIBUCION GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DIRECTORIO SELPER, SEDE MEXICO 2010 - 2012
Universidad Autónoma de Tamaulipas
Cd. Victoria, Tam. México
Tel. (834)3181721 - (834) 3189361
Selper.internacional@gmail.com

PRESIDENTE
Silvia Casas Gonzalez
Mexico

VICE-PRESIDENTE
Isabel Cruz
Mexico

VICE-PRESIDENTE
Eloy Perez
Cuba

VICE-PRESIDENTE
Aurelie Sand
Francia

SECRETARIO GENERAL
Fabián Lozano
Mexico

RESPONSABLE DE DIVULGACIÓN ELECTRÓNICA
Victor Flores
Mexico

TESORERO
Brenda Portes
Mexico

COMITÉ DE RELACIONES INTERNACIONALES
Myriam Ardila Torres (Colombia)
Presidente
Laurent Durieux – Francia
Pedro Luis García Pérez - Cuba
Pedro Martínez Fernández - Cuba
Olga Piedad Rudas - Colombia
Anyul del Pilar Mora - Colombia
Luis Geraldo Ferreira - Brasil
Washintong Franca Rocha - Brasil
Victor Barrena - Perú
Ramiro Salcedo - Venezuela

COMITÉ EDITORIAL
María Cristina Serafini (Argentina)
Presidente
Miriam Esther Antes – Argentina
Fabián Lozano – México
Leila María Fonseca – Brasil
Jorge Martín Chiroles - Cuba
Francisca Celia González - Argentina
Freddy Flores – Venezuela

COMITÉ DE EDUCACIÓN
Maria Antonia García Cisnero (Cuba)
Presidente
Luz Angela Rocha Salamanca- Colombia
Dra. Laura Delgado - Venezuela
Ethel Rubín de Celís Llanos - Perú
Josselisa Ma. Chávez - Brasil

CAPÍTULOS CONSTITUIDOS

ARGENTINA
Francisca Celia González
Universidad Nacional del Sur
Departamento de Geología
San Juan 670 (8000)
Bahía Blanca, Argentina
Tel: 54 - 291 - 459 5102 - int. 4360
Fax: 54 - 291 - 459 5127
E-mail: ghgonzal@criba.edu.ar

BOLIVIA
José Luis Liseca
Carrera de Topografía y Geodesia
Facultad Técnica
Universidad Mayor de San Andrés
Av. Arce 2299 1º Piso
La Paz, Bolivia
Tel.: 591-2-2441401
E-mail: jlisec@hotmail.com

BRASIL
Leila María García Fonseca
INPE
Av. Dos Astronautas 1758, Sao José dos Campos
San Pablo, Brasil
Tel: 55 - 12-39456000
E-mail: leila@dpi.inpe.br

CHILE
Gina Ghio
Data Research servicios de Ingeniería
Manuel Antonio Prieto 0152
Santiago, Chile.
Tel: 562 - 6651730
Fax: 562 - 6659201
E-mail: ginaghio@dataresearch.cl

COLOMBIA
Olga Piedad Rudas
Carrera 30 No. 48-51 Edificio IGAC-CIAF Of. 212
Bogotá D.C., Colombia
Tel: 57-1-369-4096
Fax: 57-1-369-4096
E-mail: orudas@prosis.com

CUBA
Pedro Luis García Pérez
Sede UNAICC, Humboldt No. 104,
Esquina a Infanta, Vedado, La Habana, Cuba
Telf.: (5 37) 8363447
E-mail: lgarcia@ch.unaicc.cu

ECUADOR
Cor. Ricardo Urbina
CLIRSEN
Edif. Instituto Geográfico Militar, Piso 4
Seniergues s/n y Paz y Miño
Apartado Postal 17-08-8216
Quito, Ecuador
Tel.: 593- 2- 254-3193
Fax: 593- 2- 255-5454
E-mail: ricardo.urbina@clirsen.com

GUATEMALA
Carlos Alberto Duarte
Ingeniería Virtual
Ruta 4, 6-49 Zona 4, Oficina 14
Ciudad de Guatemala (01004), Guatemala
Tel: 502 - 334-1039/4038
Fax: 502 - 331-9390
E-mail: chduarte@hotmail.com

GUYANA FRANCESA
Laurent PolidoriI
Directeur de Recherche IRD / US ESPACE 140
Institut de Recherche pour le Développement
(ex-ORSTOM)
Route de Montabo - BP 165 - 97323 Cayenne
cedex
Tel. (+594) 594 29 92 81
Fax (+594) 594 31 98 55
E-mail:polidori@cayenne.ird.fr

MÉXICO
Silvia Lucero Casas
UAM Agronomía y Ciencias
Universidad Autónoma de Tamaulipas
Centro Universitario Victoria
Cd. Victoria Tamaulipas, México
E-mail: scasas@uat.edu.mx

FRANCIA
Aurélie SAND
CNES
18 avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse
Cedex 9
tél : 05 61 27 43 89
sec : 05 61 28 14 54, Christine Faure
E-mail: aurelie.sand@cnes.fr

URUGUAY
Antonio Alarcón
Servicio de Sensores Remotos Aeroespaciales
Fuerza Aérea Uruguaya
Ruta 101 s/n Km. 19500
Carrasco, Canelones, Uruguay
Tel.: 598 -2 601 4083
Fax: 598 -2 601 4090
E-mail: aalarconv@hiotmail.com

VENEZUELA
Ramiro Salcedo
Centro de Procesamiento Digital del Instituto de
Ingenieria en Caracas
Apdo. Postal 40200 / Caracas, Venezuela
Tel/fax: 58 - 212 - 903 -4682
E-mail: ramiros@fii.org

PERÚ
Victor Barrena Arroyo
Universidad Nacional Agraria La Molina
Av. La Universidad s/n
La Molina, Lima, Perú
Tel / Fax: 51-1-349-5647 anexo 232/349-2041
E-mail: vbarrena@lamolina.edu.pe

CAPÍTULOS EN FORMACIÓN

PARAGUAY
Sergio M. Burgos Sosa
IPPA
Dr. César Sánchez 431
San Lorenzo, Paraguay
Tel/Fax: 595- 21-574909
Email: smburgos@highway.com.py

CAPÍTULOS ESPECIALES

ALEMANIA
Klaus Reiniger
DLR
D-8031 Oberpfaffenohfen
Alemania
Tel: 49- 8153- 281.189
Fax: 49- 8153- 281.443

CANADÁ
Fritz P. Dubois
25 Nidland
Crs Nepean Ontario Kh2-8n2
Ontario, Canadá
Tel: 613- 596-4164
Fax: 613- 723-9626

ESPAÑA
José L. Labrandero
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Pinar 25- Madrid 28006, España
Tel: 34- 411.10.98
Fax: 34- 562.55.67

HOLANDA
Carlos Valenzuela
ITC
350 Boulevard 1945, P.O.X. 6. 7500 AA
Enschede, Holanda
Tel.: 31 53 874-444
Fax: 31 53 874-400

ITALIA
Francesco Sarti
ESA/ESRIN
Via Galileo Galilei, s/n
I-00044 Frascati, Italia
Tel: 39 - 694180409
Fax: 39 - 694180602
E-mail: Francesco.Sarti@esa.int

Maurizio Fea
via Alessandro Poerio, 49
00152 Roma
tel/fax: +39065880581
móvil: +393281771383
E-mail: maufea@gmail.com

USA
Patricia M. Ravelo
SPOT
Estados Unidos
Tel: 1-800-ask-spot ext. 137
Fax: 703-648.1813
E-mail: ravelo@spot.com

COMITÉ EDITORIAL

María Cristina Serafini (Argentina)
PRODITEL
Universidad Nacional de Luján
Cruce rutas 5 y ex 7
(6700) Luján, Buenos Aires, Argentina
Tel: 54-2323-423171 int 248
Fax: 54-2323-425795
E-mail: proditel@mail.unlu.edu.ar

Miriam Esther Antes (Argentina)
PRODITEL
Universidad Nacional de Luján
Cruce rutas 5 y ex 7
Luján, Buenos Aires, Argentina
Tel: 54-2323-423171 int 248
Fax: 54-2323-425795
E-mail: proditel@mail.unlu.edu.arx

Leila María Fonseca (Brasil)
INPE
Av. Dos Astronautas 1758, Sao José dos Campos, Sao Paulo, Brasil
Tel: 55 - 12-39456000
E-mail: leila@dpi.inpe.br

Fabián Lozano (Mexico)
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Av. Euganio Garza Sada # 2501 sur, Col. Tecnológico, Monterrey, Nuevo León, México
Tel: 52 - 81 - 8358 - 1400 ext 5275
Fax: 52 - 81 - 8358 - 6280
E-mail: dflozano@itesm.mx

Jorge Martín Chiroles (Cuba)
E-mail: ciencia@geocuba.com.cu

Francisca Celia González (Argentina)
Universidad Nacional del Sur
Departamento de Geología
San Juan 670 (8000)
Bahía Blanca, Argentina
Tel: 54 - 291 - 459 5102 - int. 4360
Fax: 54 - 291 - 459 5127
E-mail: ghgonzal@criba.edu.ar

Freddy Flores (Venezuela)
Fundación Instituto de Ingeniería
Carretera Vieja de Baruta, Sector Sartenejas, Urb. Monte Elena II
Caracas, Venezuela
Tel: 58 2-903 4661-4610
Fax: 58 2- 903 4780
E-mail: freddyf@fii.org

COMITÉ DE EVALUADORES

Walter Sione
(UNLu - Argentina)
Héctor del Valle
CENPAT - Argentina)
Mirta Aída Raed
(CSR, UNLu - Argentina)
Francisca González
(UNS - Argentina)
Graciela Marín
(SEGEMAR- Argentina)

ÍNDICE TEMÁTICO

- **Monitoreo satelital de fuegos en el área cañera de la provincia de Tucumán, Argentina**
  Piriz Carrillo, V.R
  Gasparri, N.I.
  Paolini, L.
  Grau, H.R. 5
- **Evaluación del uso de imágenes de radar en banda L para la identificación de daño por fuego en el Delta del Río Paraná (Argentina)**
  De Abelleyra, D.
  Mari, N.A.
  Gaute, M..... 14
- **Análisis del evolución pos incendio de un área con pasturas naturales aplicando geotecnologías**
  Uboldi, J. A.
  Michalijos, P. A.
  Barragán, F.
  Mancino, M..... 27
- **Monitoreo de los cambios en el comportamiento de algunas lagunas debido a la oscilación climática utilizando imágenes satelitales en la puna jujeña**
  Maggi, A.E.
  Navone, S. M.
  Kindgard, F. A. 34
- **Metodología GIS de identificación de campos con quema ilegal de caña en la provincia de Tucumán**
  Avila, B.
  Báscolo, A.
  Dorna, D.... 46
- **Enfoques sobre el impacto de la salinidad del suelo en la agricultura usando imágenes de satélites. Acercamiento a la metodología radar FA**
  Lau Quan, A.
  Martín, N.
  Ponvert-Delisles Batista, D.R. 55
- **Modelo de inicio de la sequía en el Perú y en la costa norte usando los índices ENOS y los índices de vegetación del AVHRR/NOAA**
  Rojas Acuña, J.
  Rufasto Campos, E.
  Eche Llenque, J. C.
  Carrillo Gomero, F..... 69

Editado por: SELPER Internacional
Universidad Nacional de Luján
Rutas 5 y ex 7, (6700) Luján - Bs. As. - ARGENTINA

EJEMPLAR DE DISTRIBUCIÓN GRATUITA PROHIBIDA SU VENTA

PLAN EDITORIAL SELPER 2010 - 2012

PLAN EDITORIAL SELPER

A partir de las decisiones adoptadas en el marco del XIII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, llevado a cabo en La Habana, Cuba, en setiembre de 2008, la edición de la Revista SELPER está disponible en la página de nuestra Sociedad: http://www.selper.org.

En esta oportunidad hacemos llegar una publicación Especial, donde se incluyen los trabajos que han sido presentados en el Seminario Internacional: "La tecnología satelital de observación de la tierra en la evaluación, monitoreo y manejo de desastres naturales en la agricultura. Retos y perspectivas", desarrollado en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en el mes de Octubre de 2009.

Estos trabajos han sido remitidos a expertos evaluadores para su revisión y aprobación. En este sentido es necesario destacar el invalorable apoyo brindado por el grupo de evaluadores, a quienes agradecemos muy especialmente por su labor.

NORMAS PARA LOS AUTORES

Los artículos recibidos serán enviados a tres (3) expertos en la temática para su revisión. Los trabajos aprobados serán publicados en estricto orden, de acuerdo a las fechas de llegada de las contribuciones.

Los idiomas oficiales SELPER son: Español, Portugués e Inglés.

Los trabajos deberán estructurarse contemplando las siguientes secciones:

a) Título del trabajo. Nombre de los autores y direcciones completas
b) Resumen (no más de 150 palabras) indicando al final las palabras claves. Deberá incluirse en Español o Portugués, además de Inglés
c) Introducción
d) Objetivos
e) Metodología empleada y materiales
f) Resultados obtenidos
g) Conclusiones
h) Bibliografía: sólo se incluirá la citada en el texto. Se indicarán los autores, por orden alfabético, año, título, revista o medio donde fue publicado, incluyendo volumen y páginas, cuando corresponda.

Los títulos y subtítulos de cada sección deberán estar claramente indicados (ya sea con numeración o tamaño de letras). Las tablas, fotos y figuras deberán ser suficientemente nítidas, llevar un título y estar numeradas en forma consecutiva.

Se deberá enviar una copia del trabajo en formato Word y una copia papel. La extensión total del trabajo no deberá superar las 12 páginas, (DIN-A4).

Los trabajos se enviarán a: editorial@selper.org

Monitoreo satelital de fuegos en el área cañera de la provincia de Tucumán, Argentina

Piriz Carrillo, V.R. [a]; Gasparri, N.I. [ab]; Paolini, L. y Grau, H.R. [ab]

[a] **Instituto de Ecología Regional (IER) − Universidad Nacional de Tucumán, CC34, Yerba Buena, Tucumán, Argentina.**
[b] **CONICET**

RESUMEN

La provincia de Tucumán es la principal productora de caña de azúcar de Argentina. El desarrollo de la industria azucarera ha hecho que sea la provincia mas densamente poblada del país. La quema pre y postcosecha de caña es una práctica común, con potenciales efectos negativos sobre el ambiente, la infraestructura, y la salud de mas de un millón de habitantes. En el año 2005 se aprobó una legislación prohibiendo la quema de cañaverales; pero hasta el momento no se han desarrollado métodos de monitoreo para evaluar y efectivizar la legislación. En este trabajo presentamos un análisis de focos de fuegos en cultivo de caña de azúcar entre los años 2004−2008, basado en la detección de anomalías térmicas por la iniciativa FIRMS y la confección de un mapa anual del área cultivada con caña a partir de imágenes satelitales TERRA/MODIS. El número de focos de fuego descendió del 2004 al 2005, pero aumentó sostenidamente en los años subsiguientes, alcanzando el máximo valor de la serie (801 focos) en 2008; lo que implica que la legislación vigente o su implementación son ineficientes. Los departamentos Cruz Alta, Leales y Simoca concentran el 60% de los focos detectados. Agosto y Septiembre concentran la mayor densidad de fuego, en coincidencia con las menores precipitaciones y humedad atmosférica, lo que podría potenciar la contaminación atmosférica y el impacto sobre enfermedades respiratorias. Finalmente describimos un modelo de monitoreo a partir de la metodología propuesta y el sistema de modelado grafico STELLA.

Palabras clave: Imágenes Terra/ Modis, Contaminación ambiental, Caña de azúcar, Tucumán, Fuego

ABSTRACT

The Tucumán province is the main sugar cane production area in Argentina. The sugar industry has made Tucumán the most densely populated province in the country. The pre−and post−harvest burning of sugar cane is a common practice, with potentially negative effects on the environment, infrastructure, and health of over one million inhabitants. In 2005, a law banning sugar cane burning was passed, but to the present there are no monitoring methods to evaluate and enforce the legislation. In this work we present an analysis of fires hot−spots in sugar cane cultivated land between 2004 and 2008. We used thermal anomalies by the FIRMS initiative to map fire hot−spots, and TERRA / MODIS images to mapps of sugar cane cultivated area. The number of fires hot − spots fell from 2004 to 2005, but rose steadily in subsequent years, reaching the maximum value of the series (801) in 2008. This pattern implies that existing legislation or its implementation is not efficient. Sixty percent of the fires hot−spots were detected in departments Cruz Alta, Leales and Simoca.
August and September concentrate the greatest number of fire hot−spots, coinciding with the lowest rainfall and humidity, which could increase air pollution and the effects on respiratory diseases. Finally we describe a model of monitoring based in the remote sensing and the graphic modelling system (STELLA).

Keywords: Terra/ Modis, Environmental pollution, Sugar cane, Tucumán, Fires

INTRODUCCIÓN

En el Noroeste Argentino, el cultivo de la caña de azúcar dio origen a un sistema agroindustrial de gran importancia económica y social en las provincias de Tucumán, Salta, Jujuy. Particularmente en Tucumán la producción cañera fue el motor del desarrollo económico. Dos décadas antes de la llegada del ferrocarril (1876) la producción de azúcar ya era importante, y partir de este año, la superficie de caña de azúcar cultivada comenzó a crecer aceleradamente al vincularse eficientemente con la demanda nacional; y entre 1875 y 1915 la superficie aumentó de 2.045 a 106.800 has (Campi, 2000). Actualmente existe una superficie cultivada de

aproximadamente 220.000 has, según datos de la Estación Experimental Obispo Colombres (EEAOC). La producción cañera genera múltiples beneficios económicos para la provincia, pero conlleva algunos problemas ambientales asociados, incluyendo la quema de biomasa. La quema de caña previo a la cosecha, es una actividad común en muchas áreas cañeras del mundo (Hernández, 1995), cuyo principal objetivo es aumentar el rendimiento de azúcar en fábrica al eliminar residuos a bajo costo y acortar el tiempo entre corte y molienda. (Domínguez Domínguez, E. et al., 2001; Hernández, 1995; Pohlan, H.A.J. et al., 2005). También se lo utiliza con la finalidad de disminuir el tiempo entre corte y molienda en el ingenio, sin perdida en el contenido de sacarosa (Hernández, 1995). Adicionalmente, en casos en que la caña se ha cosechado sin quemar, también se practica la quema del barbecho para favorecer la rápida incorporación de materia orgánica al suelo y para evitar que quemas accidentales del barbecho en los meses posteriores afecten el rebrote de la cepa de caña correspondiente a la siguiente campaña agrícola. Por otra parte la quema de caña tiene consecuencias negativas sobre el medio ambiente: disminuye el contenido de nitrógeno, la porosidad y humedad del suelo; aumentando su compactación y susceptibilidad a la erosión (Dourado-Neto, D. et al., 1999; Oliveira, J.C.M. de, et al., 2000; Tominaga, T.T. et al., 2002). Además la quema propicia la pérdida de nitrógeno del suelo (Domínguez Domínguez et al., 2001). Pero posiblemente la consecuencia ambiental más importante sea el efecto sobre la contaminación atmosférica. La quema libera CO2, CO y O3 en cantidades significativas (Kirchoff, V.W.J.H. et al., 1991) y abundantes partículas sólidas que tienen consecuencias para la salud humana y la visibilidad, generando accidentes y afectando el turismo. Adicionalmente, el efecto directo del fuego (e.g. quema de generadores de luz y otra infraestructura) tiene fuertes impactos económicos. En respuesta a la importante percepción social de estos problemas, se sancionó en 2005 una modificación del artículo 38 de la ley provincial nº 6253 que prohíbe la quema de cañaverales en todo el territorio de la provincia. Sin embargo, hasta el presente no se cuentan con mecanismos de monitoreo sistematizados que permitan evaluar el efecto de la ley y promover su aplicación.

Los sensores remotos basados en satélites proveen herramientas altamente eficaces y de bajo costo para este propósito. La teledetección ha sido empleada para el monitoreo de fuegos desde la década de los 90s basándose en el satélite NOAA-AVHRR y más recientemente en el satélite TERRA/MODIS, en particular su programa de detección de anomalías térmicas que ha comenzado a ser utilizado regularmente para detección de fuegos a grandes escalas espaciales (Bowman, D. M. J.S. et al., 2009) a la continental (Di Bella, C.M. et al., 2006; Chuvieco, E. et al., 2008).

Las imágenes TERRA MODIS han sido usadas recientemente para la estimación de la superficie cultivada con caña de azúcar en Tucumán (Soria, F.J. et al., 2000; Soria, F.J. et al., 2007) y diversos cultivos del noroeste argentino (Volante, J. et al. , 2004). Sin embargo, y a pesar de la importancia que tiene la quema del cultivo de caña de azúcar para la provincia de Tucumán, hasta el momento no se dispone de estimaciones cuantitativas de este proceso ni indicadores de cuales son sus patrones temporales y espaciales. En este trabajo presentamos un seguimiento de los focos de fuego de la provincia de Tucumán asociados al cultivo de caña de azúcar durante el periodo 2004-2008, basado en la iniciativa "Fire Iniciative for Resources Managemente Systems" (FIRMS, 2009).

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

La provincia de Tucumán se encuentra ubicada en el Noroeste de la Argentina, entre los S 26 y S 28 º latitud y entre los O 64.5º y O 66º de longitud. Los principales cultivos se localizan en las zonas de pedemonte (caña de azúcar, limón, hortalizas) y la llanura del Este de la provincia (soja, maíz, trigo). El clima es de tipo monzónico con la estación seca durante el invierno y una estación de lluvia durante el verano. La caña de azúcar se cultiva por encima de los 800 mm de precipitaciones. El área de cultivo encuentra un límite en el este asociado con las lluvias y al oeste con la sierra de Aconquija que presenta suelos con altas pendientes (Figura 1)

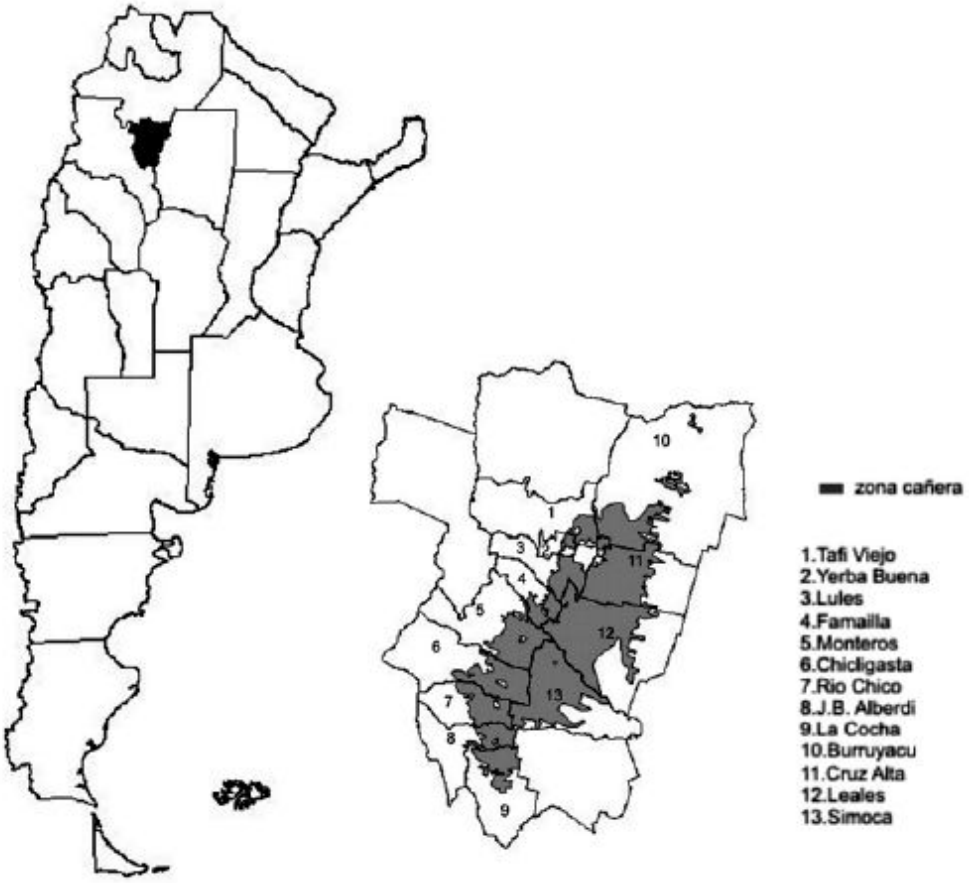


Figura 1. Área de estudio. Distribución de l cultivo de caña de azúcar en los distintos departamentos de la provincia de Tucumán.

CARTOGRAFÍA DE LA SUPERFICIE DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR PERIODO 2004–2008

Para restringir el análisis a fuegos asociados a cultivos de caña de azúcar realizamos un mapa de este cultivo en la provincia de Tucumán para cada uno de los años estudiados. Para confeccionar el mapa se empleó el producto de índices de vegetación del satélite Terra/Modis (MOLT/MOD13Q1.005/VI _16dias_250). Este producto es una composición de observaciones diarias para un periodo de 16 días, tienen una resolución espacial de 250 m e incluyen cuatro bandas (Azul, Rojo, Infra Rojo e Infra Rojo Medio) además de dos índices de vegetación: el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI por sus siglas en ingles) y el Índice de vegetación realzado (EVI por sus siglas en ingles). En este trabajo empleamos las imágenes que se componen entre los días 7 y 23 de Abril por considerarse que es la fecha óptima para poder realizar una buena detección del cultivo al corresponder a un momento donde la caña esta bien desarrollada y aún no se inicio la cosecha. Las imágenes fueron acondicionadas para este trabajo llevándolas al sistema de coordenada oficial de Argentina Gauss–Krügger (Sistema POSGAR94) Faja 3. No se realizaron correcciones geográficas o atmosféricas adicionales ya que el producto es proporcionado por la NASA con las calibraciones correspondientes. De la escena completa se realizó un recorte para restringir los datos al área de la provincia de Tucumán. Para el procedimiento de clasificación se utilizó la información espectral de las cuatro bandas a las cuales se le agregó la altitud como una banda más; derivada de un modelo de elevación digital DEM, htpp://SRTM.CSI. CGIAR..ORG.

La inclusión del DEM es de utilidad para diferenciar el cultivo de caña ya que este cultivo se restringe a las zona de llanura y respeta un limite altitudinal claro, por lo cual la altitud permite diferenciar tipos de vegetación con firmas espectrales similares a la caña pero ubicados en altitudes diferentes (e.g. pasturas).

Se realizó una clasificación supervisada definiendo tres clases (caña, suelo desnudo y bosque). Las áreas de entrenamiento fueron distribuidas por toda el área de estudio y se utilizaron al menos 70 sitios para cada clase. Estas clases de entrenamiento se definieron a base de conocimiento del terreno. El clasificador empleado fue el método Maximun

likelihood con una probabilidad del 0.9 en base al programa ENVI 4.5. Debe señalarse que este procedimiento no pretende hacer un mapa detallado de tipos de vegetación si no disponer de una estimación particular de la zona cultivada de caña de azúcar.

DETECCIÓN DE FOCOS DE FUEGO

Los mapas de fuegos activos de la provincia de Tucumán fueron obtenidos a partir de la detección de focos de fuegos activos provistos por FIRMS (2009). Este sistema integra información proveniente de sensores remotos con Sistemas de Información Geográfica (GIS) con el fin de proveer mapas globales de ubicación de anomalías térmicas (focos de fuegos/puntos de calor) detectados a partir de imágenes satelitales MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer –ftp://e4ftl01u.ecs.nasa .gov/MOLT/MOD13Q1.005). La ubicación de los focos de fuegos es procesada por el Sistema de Respuesta Rápida de MODIS/NASA utilizando el producto estándar de MODIS "MOD14 Fire and Thermal Anomalies Product". El algoritmo de detección de fuegos/puntos de calor, se basa en la información contenida en las bandas de infrarrojo medio e infrarrojo térmico de MODIS. En la mayoría de los casos, la anomalía térmica detectada de esta manera se debe a un fuego pero a otras fuentes de calor como actividad volcánica, chimenea de venteo de pozos de gas, etc. En condiciones ideales (observación nadir, superficie homogénea, escena libre de nubes y libre de humo), el algoritmo puede llegar a detectar fuegos de 50 m2; pero en condiciones mas generales puede suponerse una detección confiable de áreas quemadas de hasta 100 m2. Cada foco de fuego detectado se asigna a un pixel de 1 km x 1 km que en el algoritmo representa la ocurrencia de uno o más fuegos/puntos de calor. Si bien el "evento de fuego" se asigna a todo el píxel, típicamente los fuegos detectados sólo afectan una fracción del mismo, por lo que el método no es preciso para cuantificar área en una determinada fecha (asignar el fuego a toda la superficie del píxel implicaría una sobreestimación sistemática del área de fuegos). Sin embargo es una medida no-sesgada y por lo tanto confiable de variabilidad temporal y permite hacer comparaciones confiables de cantidad de fuegos entre distintos años.

Los fuegos detectados por el sistema FIRMS, presentan una estimación de la confiabilidad y registra el día en el cual fue detectado. En este trabajo consideramos los focos con una confianza superior al 50%. Por último, utilizando el mapa de área cultivada de caña se seleccionan los focos de fuegos que ocurren en sitios con caña de azúcar al inicio de la cosecha (Abril) con lo cual se restringen los focos de fuegos asociados a este cultivo eliminando otras situaciones como quema de bosque para desmonte.

RESULTADOS

Según nuestras estimaciones la superficie de caña de azúcar se redujo en aproximadamente 40000 ha entre 2004 y 2005 (20% del total) para volver a ascender y estabilizarse en los años subsiguientes en poco mas de 200000 ha (Figura 2). Nuestras estimaciones de superficie de caña de azúcar siempre tuvieron una discrepancia menor del 10% con respecto a las estimaciones mas detalladas realizadas por la EEAOC, por lo cual se puede considerar que nuestras estimaciones de áreas cultivadas son aceptables para los objetivos de este trabajo.

La distribución temporal de fuegos también mostró una reducción marcada en el año 2005, en forma coincidente con la aprobación del decreto Nº 795/3, que modifica el articulo 38 de la ley Nº 6253, y prohíbe la quema de caña de azúcar como método auxiliar para la cosecha; y con la reducción de la superficie de caña de azúcar. Sin embargo, entre el 2006 y 2008 el número de fuegos aumenta sostenidamente (en promedio cercano a un 30% de incremento anual), con lo que el número de fuegos detectados en 2008 (801) duplica a los detectados en 2005. A lo largo de la serie el número de focos de fuego acompaña aproximadamente la curva de superficie de caña pero es mucho más abrupta.

La dinámica de focos de fuego durante los años del estudio (Figura 3) muestra que lo primeros fuegos asociados al cultivo de caña de azúcar ocurren entre los meses de Mayo y Junio, lo cual coincide con el comienzo de la zafra en la provincia de Tucumán; y alcanzan un pico en los meses de agosto y septiembre.

Durante el período de estudio el 95% de los fuegos ocurrieron entre Julio y Octubre, siendo Septiembre el de mayor porcentaje (29%). La ocurrencia de fuegos coincide precisamente con la baja ocurrencia de precipitaciones (Figura 3).

En cuanto la distribución espacial de los focos de fuegos (Figura 4) en los diferentes departamentos de la provincia de Tucumán durante los cinco años estudiados, se puede observar que los departamentos de mayor superficie de caña de azúcar, Cruz Alta, Leales y Simoca, son los que presentan los mayores porcentajes reuniendo entre los tres el 60% del total de fuegos monitoreados en estos 5 años (Figura 5). Los restantes Departamentos presentan valores inferiores al 8% del total de fuegos en el período 2004 – 2008.

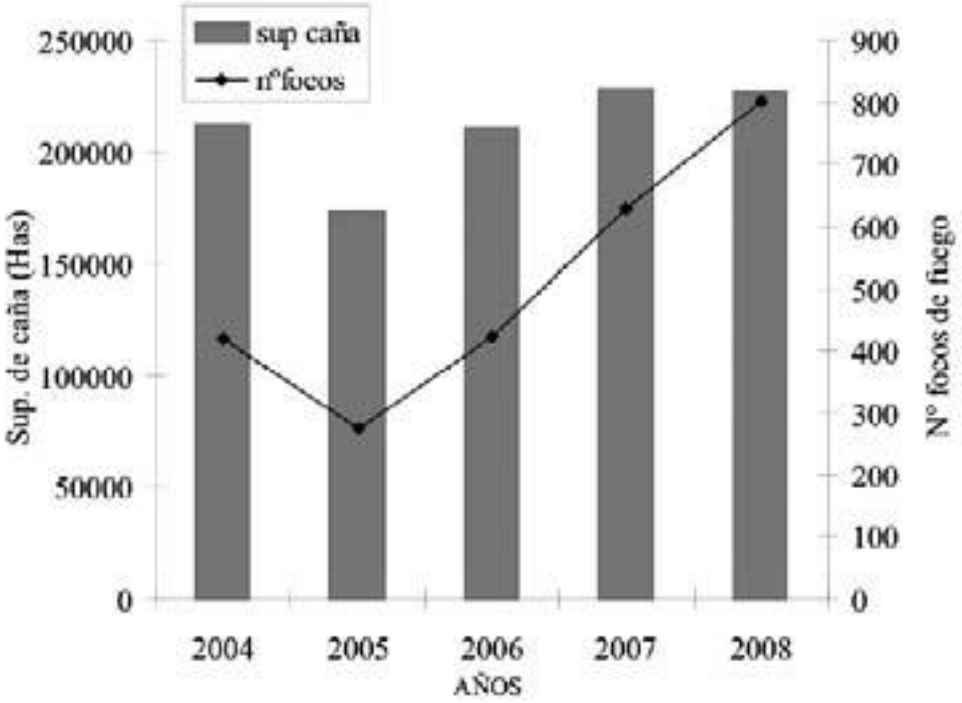


Figura 2. Superficie estimada de caña de azúcar y focos de fuego detectados en el área cañera de la provincia de Tucumán entre 2004 y 2008.

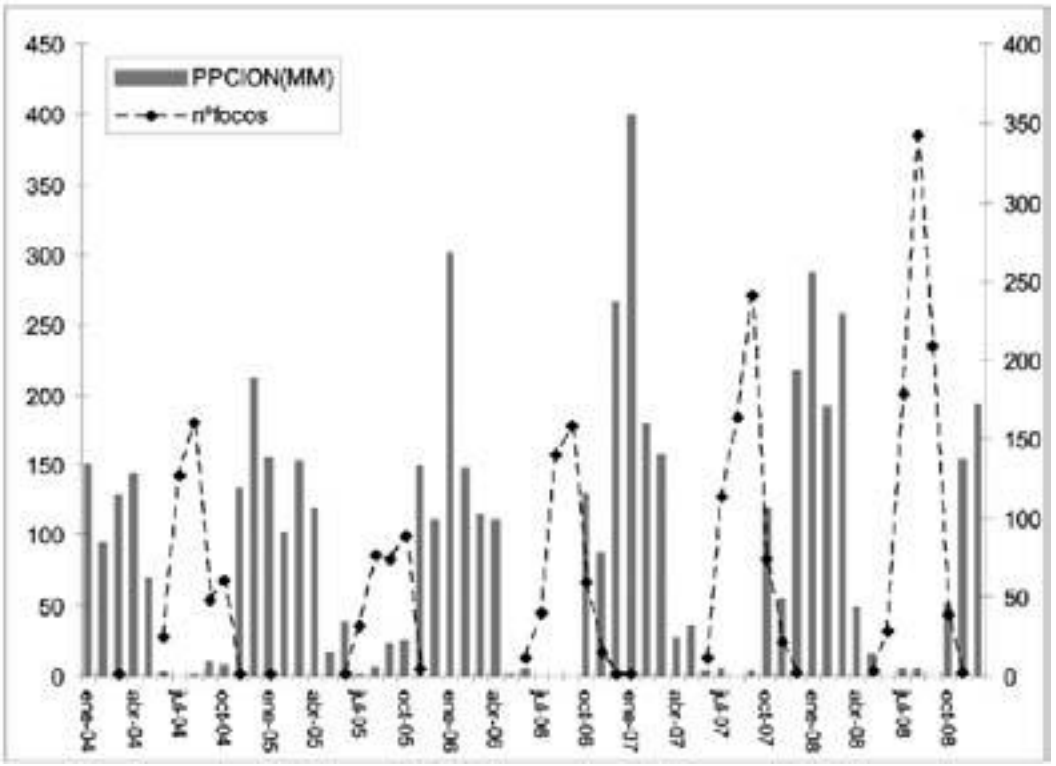


Figura 3. Distribución mensual de precipitaciones (Fuente: SAGPYA) y ocurrencia de fuegos en el área cañera de la provincia de Tucumán entre 2004 y 2007.

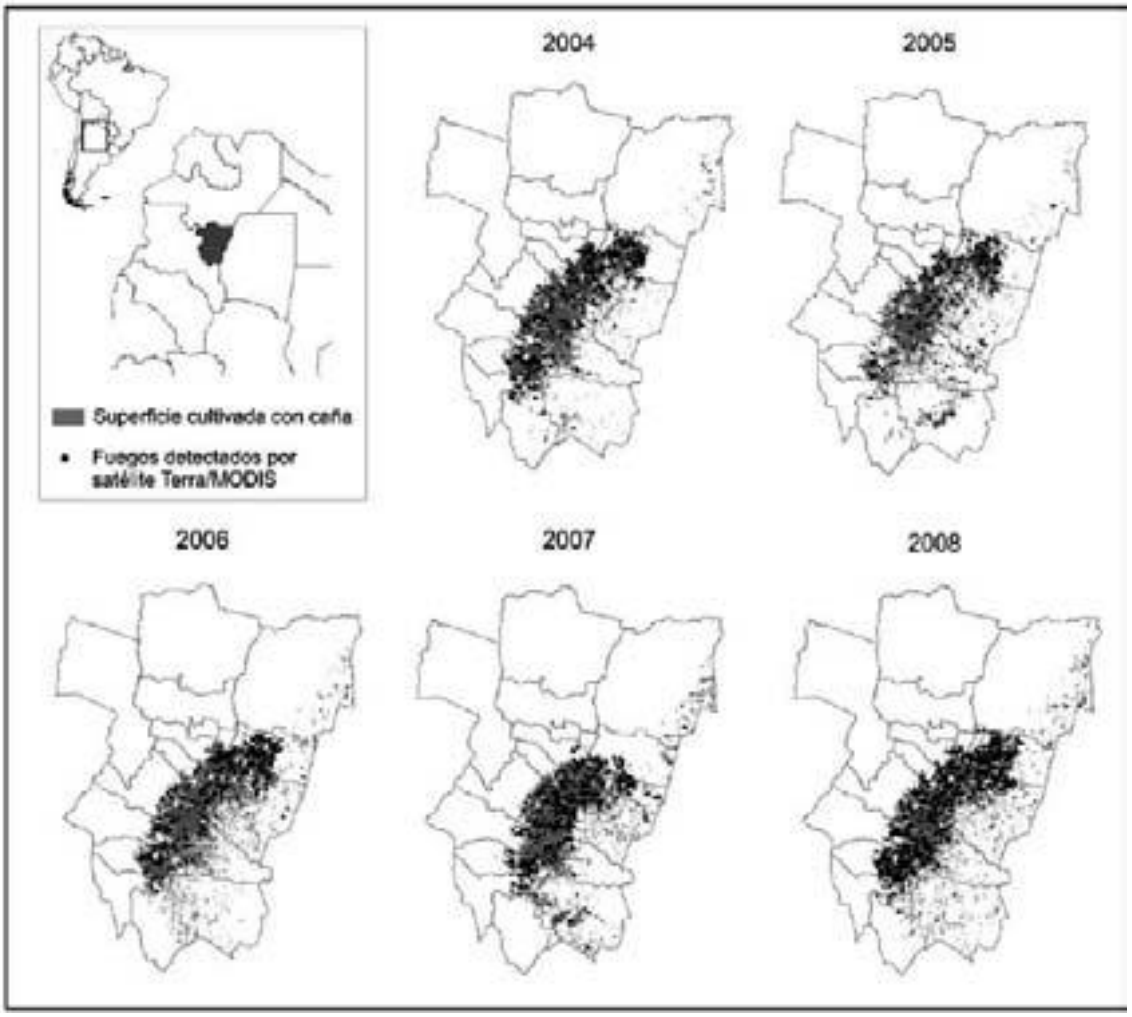


Figura 4. Focos de fuego sobre las áreas cultivadas con caña de azúcar en la provincia de Tucumán, para el periodo 2004−2008.

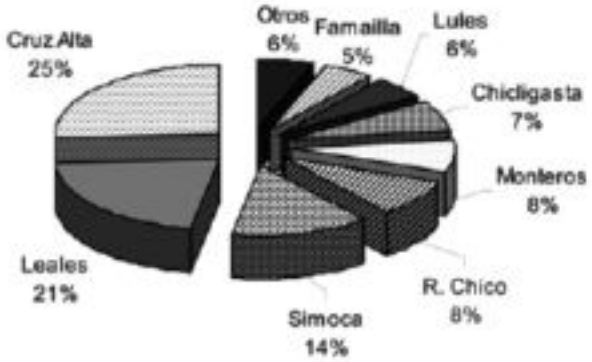


Figura 5. Departamentos de Tucumán con mayor cantidad de focos de fuegos durante el período 2004−2008

DISCUSIÓN Y PROYECCIONES A FUTURO

Este trabajo presenta la primera cuantificación de patrones temporales de fuego a lo largo de un período de varios años en el área cañera de la provincia de Tucumán. El sistema de monitoreo puede jugar un rol central en evaluar la eficacia de la ley y sus mecanismos de implementación. De hecho, la difusión de resultados preliminares de este trabajo ha tenido un fuerte impacto mediático, motivando importantes operativos de control durante 2009 (La Gaceta, 2009). Dada las fuertes implicancias ambientales, el monitoreo de fuegos puede servir como insumo central para un modelo integrado de evaluación permanente de las consecuencias ecológicas de la quema de cañaverales, que incluya los costos por emisión de gases de invernadero, los efectos en la salud (principalmente enfermedades respiratorias), la pérdida de fertilidad, y las consecuencias para la infraestructura y accidentes derivados de falta de visibilidad en rutas (Figura 6).

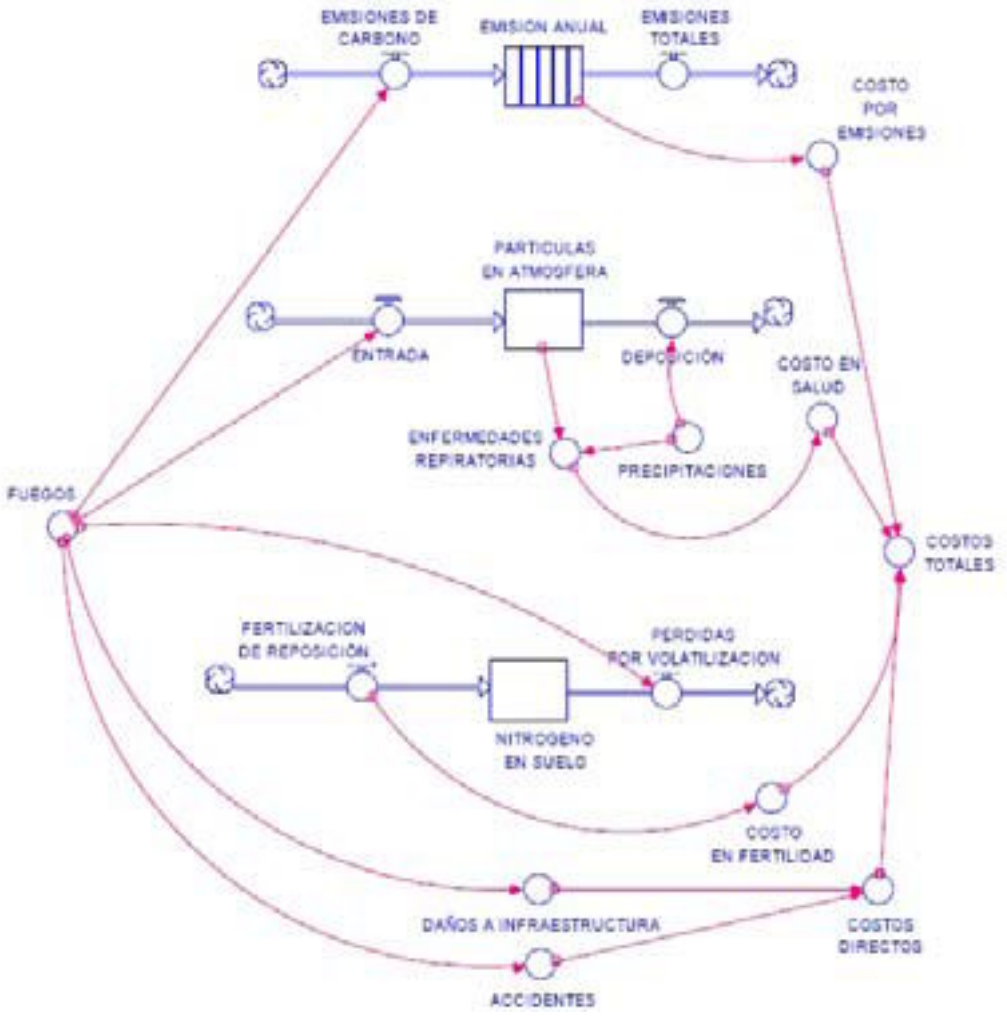


Figura 6. Esquematización de un modelo integrado de monitoreo y evaluación permanente de los efectos ambientales de los fuegos de cañaverales, en lenguaje de modelado gráfico STELLA. Recuadros simbolizan variables acumulables como partículas en la atmósfera o nitrógeno en el suelo; líneas dobles con círculos anexos simbolizan flujos de materia; círculos simbolizan variables de control; líneas delgadas simbolizan flujos de información.

En el esquema se representan los principales flujos asociados a la quema de cañaverales. Los fuegos influyen en las emisiones de CO2 a la atmósfera, en la acumulación de partículas sólidas en la atmósfera, en las pérdidas de Nitrógeno del suelo y en la facilitación de accidentes y destrucción de infraestructura. Todos estos procesos generan distintos costos que suman a un costo total del proceso.

En este trabajo la superficie cultivada con de caña fue estimada mediante clasificación de imágenes satelitales cuyo mapas resultantes no disponen de una verificación de campo pero coincide con estimaciones independientes. Los mapas obtenidos si bien pueden presentar errores son lo suficientemente precisos para nuestro propósito de detectar fuegos asociados con la producción de caña. Por otra parte debe indicarse que no hay en la zona otros cultivos que espectralmente se puedan confundir con caña de azúcar y que sean manejados con fuego. Por lo tanto los posibles errores de los mapas del área cultivada con caña son menores y no ocasionan sobre-estimación de fuegos de caña ya que si se incluye como caña erróneamente algún otro cultivo o tipo de vegetación estos sitios no están sometidos a fuego. Por el contrario los errores de omisión del mapa (es decir la no detección de áreas cultivadas con caña) puede significar una subestimación de los fuegos. Teniendo en cuenta lo anterior, junto con la utilización de un umbral de confianza del producto de fuegos del 50% y que un píxel de 1 km indicado como una anomalía térmica, puede incluir más de un fuego activo nosotros argumentamos que nuestras estimaciones de números de fuego son conservadoras. Con todas estas limitaciones, lo mas importante de destacar es que el método no es sesgado en el tiempo, y permite una cuantificación objetiva de patrones inter-anuales y estacionales, que son esenciales para un sistema de monitoreo y su uso para políticas ambientales. Para mejorar la calibración y precisión del método en el caso de la quema de caña de Tucumán algunos preguntas que deberían resolverse incluyen: ¿Cual es el umbral de la confiabilidad adecuado para detectar fuegos? ¿Cual es la dimensión mínima de un fuego en el cultivo de caña de azúcar, para que sea detectado por el satélite? ¿Ocurren eventos de fuegos que por tener corta duración, no están activos en el momento de registro de la imagen y por lo tanto no se detectan? ¿Como estimar superficie quemada a partir de fuegos registrados en píxeles de 1 Km2?

CONCLUSIONES

• El mapeo de fuegos basado en la detección de anomalías térmicas por la iniciativa FIRMS, combinado con mapas anuales del área cultivada con caña a partir de imágenes satelitales TERRA/MODIS, permiten el desarrollo de un sistema de monitoreos de fuegos en cultivos de caña de azúcar, objetivo, de buena resolución temporal y espacial, altamente confiable y de bajo costo; que podría integrarse con modelos dinámicos que cuantifiquen las distintas consecuencias ambientales del proceso, y sus costos para la sociedad.

• Entre 2004 y 2008 se observó una disminución inicial de los fuegos en el año 2005, coincidente con la sanción de la prohibición provincial del uso de fuegos, y con la disminución del área cañera. A partir de esa fecha, los fuegos han aumentado sostenidamente, evidenciando la ineficacia de la ley o sus mecanismos de implementación.

• La mayor ocurrencia de focos de fuegos es durante la estación seca con lo cual se acentúan los problemas ocasionados por la contaminación atmosférica, tales como efectos en la visibilidad o incidencia en enfermedades respiratorias.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Sobrino, a la Lic. Karina García y a la Biol. Jorgelina Gutiérrez Angonese por su asistencia en desarrollos metodológicos. Este proyecto se financió con recursos del proyecto PICT-O 816 del FONCYT, y el proyecto 26/G420 del Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán.

BIBLIOGRAFÍA

BOWMAN, D. M. J.S.; BALCH, J.K.; ARTAXO, P.; BOND, W.J.; CARLSON, J.M.; COCHRANE, M.A.; D'ANTONIO, C.M.; DEFRIES, R.S.; DOYLE, J.C.; HARRISON, S.P.; JOHNSTON, F.H.; KEELEY, J.E.; KRAWCHUK, C.A.K.; MARSTON, J.B.; MORITZ, M.A.; PRENTICE, I.C.; ROOS, C.I.; SCOTT, A.C.; SWETNAM, T.W.; WERF, G.R. VAN DER; PYNE, S.J. (2009). Fire in the Earth System Science. Vol. 324, 481-484.

CAMPI, D. (2000). Economía y sociedad en las provincias del Norte. En Nueva Historia Argentina "El progreso, la modernización y sus límites (1880-1916)"Ed. Sudamericana- Bs.As.

CHUVIECO, E., OPAZO, S.; SIONE, W.; DEL VALLE, H.; ANAYA, J.; DI BELLA, C.; CRUZ, I.; MANZO, L.; LOPEZ, G.; MARI, N.; GONZALEZ – ALONSO, F.; MORELLI, F.; SETZER, A.; CSISZAR, I.; KANPANDEGI, J.A.; BASTARRIKA, A.; LIBONATI, R. (2008). Global burned-land estimation in Latin America using MODIS composite data. Ecological Applications. Vol.18, (1), 64-79.

DI BELLA, C.M.; JOBBAGY, E.G.; PARUELO, J.M.; PINNOCK, S. (2006). Continental fire density patterns in South America. Global Ecology and Biogeography. Vol.15, 192–199.

DOMÍNGUEZ DOMÍNGUEZ, E.; LANDEROS SÁNCHEZ, C.; RIESTRA DÍAZ, D.; LÓPEZ COLLADO, C.J. (2001). Efecto de la quema de la caña de azúcar en la materia orgánica y el nitrógeno del suelo. http://www.colpos.mx/cveracruz/SubMenu_Publi/Avances2000/Quema_de_cana_azucar.html

DOURADO–NETO, D.; TIMM, C.; OLIVIEIRA, J.C.M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; TOMINAGA T.T.; CÁSSARO, F.A.M. (1999). State–space approach for the análisis of soil water content and temperature in sugarcane crop. Scientia Agricola. Vol. 56, 1215–1221.

HERNÁNDEZ, Y. (1995). Efecto de la quema de la caña de azúcar sobre la incidencia de enfermedades respiratorias en dos localidades del estado Aragua, Venezuela. Caña de Azúcar. Vol. 13, (02), 85–97.

KIRCHOFF, V.W.J.H.; MARINHO, E.V.; DIAS, P.L.S.; PEREIRA, E.B.; CALHEIROS, R.; ANDRÉ, R.; VOLPE, C. (1991). Enhancements of CO and O3 from burnings in sugar cane fields. Journal of Atmospheric Chemistry. Vol. 12, 87–102.

LA GACETA (2009). El incremento en la quema de cañaverales. Ed. García Hamilton, A.

MINETTI, J.L. El clima del noroeste argentino. (2005). Editorial Magna.

OLIVEIRA, J.C.M. DE; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; TIMM, L.C.; DOURADO–NETO, D.; TRIVELIN, P.C.O.; TOMINAGA, T.T.; NAVARRO, R.C.; PICCOLO, M.C.; AND F.A.M. CÁSSARO. (2000). Nitrogen dynamics in a soil–sugar cane system. Scientia Agricola. Vol. 57, 467–472.

POHLAN, H.A.J.; TOLDEO TOLEDO, E.; LEYVA GALÁN, A.; MARROQUÍN AGREDA, F. (2005). Manejo agroecológico de la caña de azúcar (Saccharum spp.) en el Soconusco, Chiapas, México. III Congreso Brasileriro de Agroecologia, 17 a 20 de octubre de 2005 – Florianópolis/SC, CD Memorias orales, pdf. 072.

SORIA, F.J.; FANDOS, C.V.; SCANDALIARIS, J. (2000). Relevamiento satelital de la provincia de Tucumán determinación del área cultivada con citrus y granos, y producción de caña de azúcar. Revista industrial y agrícola de Tucumán. Vol. 77, 49–69.

SORIA, F.J.; FANDOS, C.V.; SCANDALIARIS, J.; MORANDINI, M.; PEREZ, D.R.(2007). Evaluación de los datos del sensor ASTER para estimar la superficie cultivada y los niveles de producción de caña de azúcar en Tucumán, Argentina. Revista industrial y agrícola de Tucumán. Vol. 84, (1), 23–26. ISSN 1851–3018.

TOMINAGA, T.T., F.A.M. CASSARO, O.O.S. BACCHI, K. REICHARDT, J.C. OLIVEIRA, AND L.C. TIMM. (2002). Variability of soil water content and bulk density in a sugarcane field. Australian Journal of Soil Research. Vol. 40, 605–614.

VOLANTE, J.; BENEDETTI, P.; PAOLI, H.; MORENO, R.; FERNANDEZ, D. (2004). Monitoreo de cultivos del noroeste argentino a partir de sensores remotos. Campaña agrícola 2004–caña de azúcar. INTA

Evaluación del uso de imágenes de radar en banda L para la identificación de daño por fuego en el delta del río Paraná (Argentina)

De Abelleyra, D.[a]; Mari, N.A.a y Gaute, M.[b]

[a] Instituto de Clima y Agua, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). De los Reseros y N. Repetto s/n, (1686) Hurlingham, Buenos Aires, Argentina.

[b] Cátedra de Dasonomía − Facultad de Agronomía – UBA . Av. San Martín 4453 − C1417DSE − Buenos Aires – Argentina

RESUMEN

El fuego es una herramienta frecuentemente utilizada como parte del manejo agropecuario. Su uso indebido puede constituir una práctica riesgosa, generando efectos no deseados con daños a la producción agropecuaria y el ambiente. En teledetección se utilizan generalmente sensores térmicos y ópticos para la identificación de puntos de calor y la estimación de daño por fuego en la vegetación, respectivamente. Los sistemas de RADAR pueden presentar ventajas dada su capacidad de penetración en un canopeo y la posibilidad de obtener imágenes en condiciones de nubosidad o con presencia de humo. El RADAR en banda L posee mayor capacidad de penetración en la vegetación, pero ha sido escasamente estudiado para el análisis de eventos de fuego. En este trabajo, se consideró un evento de fuego ocurrido en la región del delta del río Paraná durante el año 2008. Se realizaron comparaciones entre clasificaciones de área quemada obtenida con el RADAR ALOS PALSAR (banda L) y clasificaciones obtenidas con sensores ópticos y térmicos. Se consideró también el resultado de la comparación según diferentes tipos de vegetación. Se analizó la clasificación con ALOS utilizando umbrales de cambio en el nivel de retrodispersión. Se observó una asociación entre los resultados obtenidos para los sensores de RADAR y ópticos mayor al 70 %. Considerando la imagen en su conjunto, se estableció un valor umbral óptimo para la clasificación con ALOS, alrededor de 5dB. Diferentes valores umbrales pueden ser sugeridos para los distintos tipos de vegetación considerados.

Palabras clave: Radar, Landsat, Vegetación, Área quemada, Fuego

ABSTRACT

Fire is commonly used as part of agricultural practices. The inadequate use of this tool can be dangerous, generating undesired effects to crop and livestock production and to the environment. Common remote sensing tools for hotspots detection and burnt vegetation damage are based on thermal and optical sensors. RADAR systems can take advantages to these techniques, since its ability to penetrate vegetation canopies and the ability to obtain images despite the presence of clouds or smoke derived from fires. L band RADAR systems can penetrate greater in vegetation systems, but have been scarcely used for fire events analysis. In this work we analyzed the fire event occurred at the Paraná river delta region on 2008.
Comparisons between burnt area classifications obtained from L band ALOS PALSAR RADAR, optical and thermal sensors were performed. Also comparison results were performed taking into account different vegetation units. Comparison results were analyzed using different backscatter change thresholds for ALOS images. The results showed an association between RADAR and optical based classifications of over 70 %. For the whole image, an optimal threshold value of 5 dB was determined. Also different threshold values can be suggested for different vegetation units.

Keywords: Radar, Landsat, Vegetation, Burnt area, Fire

INTRODUCCIÓN

El fuego es una herramienta comúnmente utilizada como parte del manejo agropecuario en distintas zonas de Argentina (Kunst et al., 2003). Idealmente bajo un esquema de quemas prescriptas o controladas, el objetivo de quemar está puesto en la obtención de material palatable para el ganado, la reducción de combustibles, la eliminación de residuos de explotación forestal y la ampliación de nuevas tierras productivas, entre otros usos (Kunst et al., 2003). A pesar de los beneficios que se pueden obtener del uso del fuego, además de la concepción del mismo como un disturbio regulador de ciertos ecosistemas, su utilización desmedida puede constituir una práctica riesgosa capaz de producir efectos no deseados tanto desde el punto de vista productivo y antrópico a corto plazo, como ambiental a largo plazo.

Uno de los aspectos de mayor relevancia que atañen al uso del fuego como herramienta es la escala con la cual se producen las quemas (local–regional–global), la superficie quemada, la intensidad y la frecuencia.
Éstos elementos se corresponden con algunos de los atributos del régimen de fuegos de determinada región, que a partir de la intervención del hombre ya sea por el uso indiscriminado o la supresión de fuegos, se ven notablemente alterados, con las consecuencias que ello implica en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, las alteraciones en la composición del suelo, los efectos producidos por la emisión de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera además de las perdidas a nivel humano y económico.
En términos de prevención, cuando una quema se torna incontrolable se convierte en un incendio, y de acuerdo a la escala y los recursos en riesgo pueden convertirse en un desastre natural. En este contexto, existe la necesidad de registrar el desarrollo de las quemas y su evolución hasta convertirse en un desastre natural.
Las técnicas de teledetección principalmente utilizadas para identificar fuegos activos, como para determinar la superficie quemada y estimar el daño en la vegetación producido por el fuego, están relacionadas con sensores térmicos y ópticos respectivamente o bien a partir de una combinación entre ellos (Chuvieco et al., 2008; Fraser et al., 2000; Huesca et al., 2008).
La identificación de un fuego activo o punto de calor implica por lo general establecer umbrales en la temperatura de brillo captada por el sensor en torno a los 4 micrones, y en la diferencia entre los 4 y 11 micrones (Giglio et al., 2003). Actualmente el sensor más utilizado para tal fin es el MODIS, cuyo diseño proviene de la experiencia del sensor NOAA–AVHRR y GOES (Justice et al., 2002). La detección de Áreas quemadas por medios ópticos se realiza comúnmente a partir de los canales visibles, Infrarrojo cercano y el infrarrojo medio de onda corta (SWIR) especialmente sensibles a la señal del carbón (Pereira 1999). Existen diversas técnicas que permiten obtener los perímetros quemados a partir de dichos canales que van desde la interpretación visual, hasta la aplicación de índices específicamente diseñados, como el NBR, dNBR BAIM, NDVI, entre otros. La estimación de la superficie y el nivel de daño se realizan tanto a partir de imágenes de moderada resolución (MODIS) o alta resolución (LANDSAT, CBERS) para cartografías de mayor detalle.
Las imágenes de RADAR pueden proporcionar información adicional para la estimación de daño por fuego, debido tanto a su capacidad de extraer imágenes con presencia de nubosidad o humo, como a la capacidad de penetración de la señal emitida dentro del canopeo. Esta última característica permite obtener información sobre la estructura de la vegetación (Le Toan et al., 2004), pudiendo llegar a brindar información sobre la biomasa vegetal presente. En Argentina, se ha evaluado el uso de RADAR en banda C (5.3 GHz) en el delta del río Paraná para la a estimación de áreas quemadas de juncales y pajonales (Karszenbaum et al., 2003).
El uso de RADAR en banda L (1.27 GHz) presenta mayor capacidad de penetración en canopeos vegetales, mostrando menores inconvenientes de saturación de su señal con altos niveles de biomasa vegetal.
Actualmente existe un único satélite en órbita que dispone de un RADAR en banda L (ALOS PALSAR) y su utilización ha sido escasamente evaluada en Argentina.
Se han realizado algunos trabajos para la caracterización de áreas quemadas con imágenes de RADAR mediante el análisis del valor de retrodispersión entre imágenes pre y post–fuego (Honikel y Wagemuller, 2000; Karzenbaum et al., 2003; Shimada et al., 2000). Sin embargo, es difícil encontrar en la bibliografía valores umbrales de cambio en los niveles de retrodispersión para estimaciones de área quemada, particularmente para banda L, lo que facilitaría la realización de clasificaciones a partir de imágenes de RADAR. La capacidad de obtener información polarimétrica (característica incorporada en los satélites más recientes: ALOS PALSAR, RADARSAT 2, TerraSAR), permitiría obtener mayor información sobre características de la vegetación. En particular se considera que la polarización donde se envía la señal en dirección horizontal y se recibe su rebote en dirección vertical (HV), está muy relacionada con características de la vegetación.
Este trabajo se centra en el evento ocurrido en la región del delta del río Paraná durante el año 2008.
Allí se produjeron incendios que afectaron una región muy importante del delta e incluso, debido al humo producido, se sintieron efectos dañinos en centros poblacionales cercanos. Si bien es difícil conocer la causa de eventos de fuegos, estos coincidieron con un período de fuerte sequía observado en la región durante 2008, que fue antecedido por un período muy húmedo con importantes inundaciones durante 2007. Esta situación pudo haber generado grandes niveles de biomasa vegetal combustible, y condiciones predisponentes tanto para el inicio de los fuegos como para su propagación posterior. El mayor número de puntos de calor detectados se produjo en el mes de abril de 2008, siendo importante también la aparición de puntos dentro del período de marzo a octubre de 2008 (Liota, 2008).
El objetivo de este trabajo es la evaluación de técnicas para la detección de daño por fuego en vegetación obtenidas a partir de imágenes de RADAR en banda L, mediante la comparación con el resultado de técnicas comúnmente utilizadas a través de sensores ópticos y térmicos.

METODOLOGÍA

ÁREA DE ESTUDIO

El delta del río Paraná se forma a partir de la acumulación de sedimentos en una llanura de inundación formando una gran cantidad de islas. Presenta una gran heterogeneidad de unidades de paisaje, pudiéndose encontrar, particularmente en la región de análisis de este trabajo, desde grandes zonas con relieve elevado y presencia de praderas graminiformes (isla de Ibicuy), hasta zonas inundadas en forma permanente y no permanente (Malvárez, 1997). Una de las situaciones más frecuentes es la presencia de islas conformadas por albardones perimetrales (con presencia de bosques naturales e implantados) que rodean áreas deprimidas (presencia de praderas de herbáceas, pajonales o juncales).

Se señalan cinco tipos de vegetación principales en la zona del delta del Paraná (Salvia et al., 2009):

- Bosques de sauce (Salix sp.) y álamo (Populus sp.), espinillo (Acacia caven) y algarrobo (Prosopis sp.)
- Pajonales de cortadera (Scirpus giganteus) y Panicum pronitis.
- Juncales de Schoenoplectus californicus.
- Praderas de herbáceas acuáticas graminoides y latifoliadas
- Pastizales de gramíneas.

La forestación se ha convertido en una de las actividades económicas principales del delta durante las ultimas décadas, a partir de la reconversión desde actividades de fruticultura, horticultura y producción de mimbre (Borodowski, 2006). La ganadería también es una actividad de importancia, que adquiere relevancia durante los últimos años a partir de la expansión de la frontera agrícola y el desplazamiento de la ganadería hacia zonas marginales como el delta.

DETECCIÓN DE ÁREAS QUEMADAS

Se realizó una comparación entre estimaciones de área dañada por fuego en una zona del delta del río Paraná obtenida a partir de imágenes de RADAR y estimaciones realizadas a partir de sensores ópticos (Fig. 1).

Figura 1. Área de estudio. Rojo: Perímetro de imagen LANDSAT 5 TM (PATH: 226; ROW: 83); Azul: Perímetro de imagen ALOS PALSAR (PATH: 90; FRAME: 6500). Área rayada: Región analizada en este trabajo.

IMÁGENES UTILIZADAS

Se utilizaron dos imágenes del RADAR ALOS PALSAR modo FBD (Polarización HH y HV) nivel de procesamiento 1.0 correspondientes a la zona del delta del río Paraná captadas los días 23/07/2007 (preevento) y 25/07/2008 (post evento) (Fig. 1 y 2). Como imagen óptica se utilizó una imagen LANDSAT 5 TM captada el día 06/10/2008 (post−evento) (Fig. 1 y 3). Se utilizaron también imágenes MODIS captadas entre enero y julio de 2008 para la detección de puntos de calor.

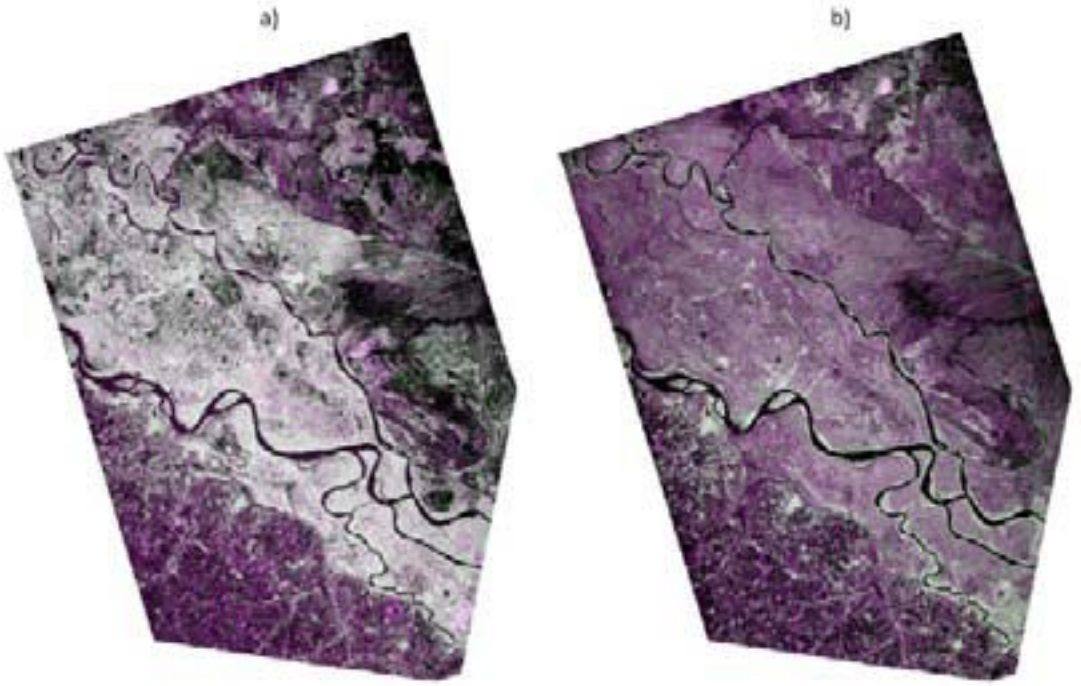


Figura 2. a) Imagen ALOS PALSAR FBD del 23/07/2007 (pre evento). Canales: Rojo: HH; Verde: HV; Azul: HH. b) Imagen ALOS PALSAR FBD del 25/07/2008 (post−evento). Canales: Rojo: HH; Verde: HV; Azul: HH.

PROCESAMIENTO IMÁGENES ALOS

Se utilizó el software ROI_pac (Rosen, Hensley, Peltzer, & Simons, 2004) para el procesamiento de las imágenes ALOS PALSAR nivel 1.0 (datos crudos), con lo que se obtuvieron imágenes en formato single look complex (información de amplitud y fase). Se realizó una compresión (multilook) en azimut con factor 5 para obtener un tamaño de píxel que represente una superficie cuadrada y se estimó la intensidad de retrodispersión. Las imágenes fueron geo−referenciadas y corregidas geométricamente utilizando como base de comparación a imágenes LANDSAT ETM ortorectificadas provistas por el programa Global Land Cover Facility (http://glcfapp.umiacs.umd .edu:8080/esdi/index.jsp) de la Universidad de Maryland (EEUU). El tamaño de píxel finalmente obtenido fue de 18.8 m. Se realizó un filtrado con el método FROST utilizando un tamaño de ventana de 5 píxeles para reducir el ruido de la imagen (speckle).

Para considerar los cambios en la vegetación entre la imagen previa y la posterior al evento de fuego, se estimó la diferencia de intensidad de retrodispersión entre el canal de polarización HV de las dos imágenes de RADAR, dado que se considera que esta polarización es mejor indicadora de niveles de vegetación.

Se realizó una clasificación no supervisada con el método ISODATA (Jensen, 2000). Se consideraron 3 clases que representarían tres estados de vegetación en relación con la intensidad anterior al evento (2007) y posterior al evento (2008): 1) diferencia positiva, 2) diferencia negativa y 3) sin cambios. Se consideró como área quemada a la clase con diferencias positivas, es decir, que presentó mayor nivel de intensidad pre−evento (2007) que post−evento (2008). Posteriormente se realizó un filtro de mediana con un tamaño de ventana de 9 píxeles, para reducir la presencia de píxeles aislados.

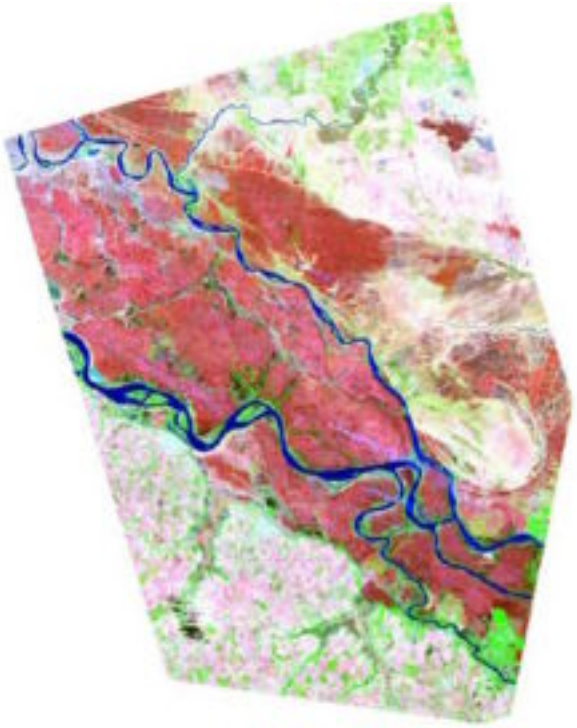


Figura 3. Imagen LANDSAT TM del 06/10/2008 (post evento). Canales: Rojo: Banda 7; Verde: Banda 4; Azul: Banda 3)

PROCESAMIENTO IMÁGENES LANDSAT

Se realizaron correcciones geométricas de las imágenes utilizando como base de comparación a imágenes LANDSAT ETM ortorectificadas provistas por el programa Global Land Cover Facility (http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp) de la Universidad de Maryland (EEUU). Los valores digitales (digital number) de las bandas 3,4 y 7 de LANDSAT 5 TM fueron transformados a irradiancia y posteriormente a reflectancia, siguiendo la metodología descripta por Chander y Markham (2003). A posterior se calculó el índice de área quemada NBR (Normalized Burned Ratio) a partir de las bandas 4 y 7 de acuerdo a la metodología desarrollada por Key y Benson (2005) según la fórmula: (NBR = R4 – R7 / R4 + R7). La detección y posterior delimitación de la superficie quemada se realizó de acuerdo a los umbrales sugeridos por Key & Benson (2005) y adaptados bajo un ejercicio de prueba y error. La cicatriz finalmente obtenida se reclasificó a dos únicas clases, quemado y no quemado.

PROCESAMIENTO IMÁGENES MODIS

Se utilizaron los puntos de calor (Hotspots) MODIS provistos por CONAE procesados con el algoritmo MOD014 v3.2 (Justice et al., 2006). Se acumularon las detecciones correspondientes al período comprendido entre las imágenes ALOS. Luego se generó un buffer cuadrado de 1 Km de lado, ubicado en la coordenada central del punto de calor correspondiente al tamaño de píxel MODIS. Se generó una imagen binaria entre área cubierta y no cubierta por puntos de calor.

COMPARACIÓN ENTRE CLASIFICACIONES

Se utilizó una máscara para filtrar áreas agrícolas y urbanas y cuerpos de agua, y se consideró una intersección de las áreas cubiertas por las imágenes utilizadas. El tamaño de píxel de los distintos tipo de imagen fue resampleado a 18.8 m (tamaño de píxel obtenido para las imágenes ALOS). Como resultado de la comparación se establecieron cuatro categorías, según el criterio presentado en el cuadro 1. Se realizaron comparaciones entre imágenes ALOS y LANDSAT, entre imágenes LANDSAT y Hotspots, y entre imágenes ALOS y Hotspots.

A partir de una clasificación por tipos de vegetación en la zona del delta del río Paraná (Salvia et al., 2009). Se analizaron los resultados las clasificaciones con ALOS y LANDSAT para diferentes tipos de vegetación.

En esta clasificación se diferencian cinco tipos: juncales, cortadera, herbáceas acuáticas, pastizales y bosques nativos y plantaciones forestales.

Cuadro 1: Identificación de resultados de la clasificación a partir de la combinación de las distintas clasificaciones.

Clasificación Imagen 1	Clasificación Imagen 2	Resultado comparación
Quemado	Quemado	ACIERTO QUEMADO
Quemado	No quemado	OMISION
No quemado	Quemado	COMISION
No quemado	No quemado	ACIERTO NO QUEMADO

DETECCIÓN DE UMBRALES ALOS PALSAR

Se establecieron posibles umbrales de disminución de la intensidad de retrodispersión (HV 2007– HV2008) para la clasificación con imágenes ALOS. Se consideraron valores umbrales entre 2 y 8 dB. Se realizaron comparaciones entre clasificaciones con ALOS y LANDSAT utilizando los diferentes umbrales definidos. A partir de su análisis se determinó un valor umbral óptimo de ALOS para la detección de área dañada por fuego. Se analizó también la variación de estos umbrales según el tipo de vegetación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observa una diferencia importante entre la imagen ALOS PALSAR anterior y la posterior al evento (Fig. 2). En la imagen de 2008, se observa una gran proporción de la superficie del delta con colores oscuros (escasa intensidad de señal de RADAR), a diferencia de la imagen de 2007 donde se observa mayor proporción de colores claros y verdosos (mayor importancia relativa de canal HV), lo que indicaría una mayor presencia de vegetación en aquel momento.

La diferencia en intensidad de retrodispersión del canal HV entre la imagen previa (2007) y la posterior al evento (2008 – Fig. 4.a) puede ser un indicador de cambios en la vegetación. Las zonas de color oscuro (valores altos y positivos de la diferencia de intensidad), indicarían disminuciones importantes en los niveles de vegetación. Es importante tener en cuenta que pueden ocurrir efectos confundidos en la señal del RADAR debido a cambios en la humedad del suelo y de la vegetación entre ambas imágenes, particularmente debido a que en la zona se produjo una inundación importante durante 2007 y una fuerte sequía durante 2008. Cambios negativos en la intensidad indicarían incrementos en el nivel de vegetación (colores claros – Fig. 4.a), pero también esto podría observarse en zonas que estuvieron inundadas durante 2007 (la señal es reflejada) y no lo estén durante 2008 (se capta señal del RADAR). Los colores grises reflejan zonas de escaso cambio en la intensidad de retrodispersión como es el caso de las zonas urbanas (San Pedro, Baradero, Gueleguay) que presentan alta intensidad en ambas imágenes.

En la imagen LANDSAT (Fig. 3) se observa en rojo (mayor importancia relativa de la banda 7) las zonas afectadas por fuego, denotando el suelo desprovisto de vegetación y con presencia de carbón y cenizas. Fuera de los límites del delta, donde el fuego no alcanzó a extenderse, se observan los cultivos y la vegetación natural en tonos más claros.

La estimación de NBR (Fig. 4.b) permite observar zonas oscuras (bajo valor NBR) en una gran proporción del delta que denotan zonas dañadas por el fuego. Se observa una gran asociación entre la imagen de NBR (Fig. 4.b) y la imagen de la diferencia de intensidad en el canal HV de ALOS (Fig. 4.a). Valores más oscuros de la imagen de NBR se corresponden con sectores más oscuros de la imagen ALOS.

La comparación visual entre los resultados de la clasificación de área quemada a partir de imágenes ALOS y LANDSAT (Fig. 5) muestra también cierta asociación. La mayor proporción de superficie quemada se observa para ambos casos en la zona central de la imagen, siguiendo la dirección del río Paraná. También se observa en ambas imágenes, zonas con baja proporción de áreas quemadas en regiones ubicadas al NORESTE y al ESTE. Sin embargo, se observan algunas zonas clasificadas por ALOS como quemadas, pero no por LANDSAT.

El análisis cuantitativo de ambas clasificaciones (Cuadro 2 – Fig. 6), muestra una asociación entre ALOS y LANDSAT superior al 70 % (área clasificada a través de ambos sensores como quemada y no quemada). Este análisis refleja también mayores errores de comisión que de omisión de ALOS, mostrando tendencia a sobreestimar el área quemada en comparación con la imagen LANDSAT. La superficie detectada como quemada por ALOS fue del 46.33 %, mientras que la detectada por LANDSAT fue del 34.85 %.

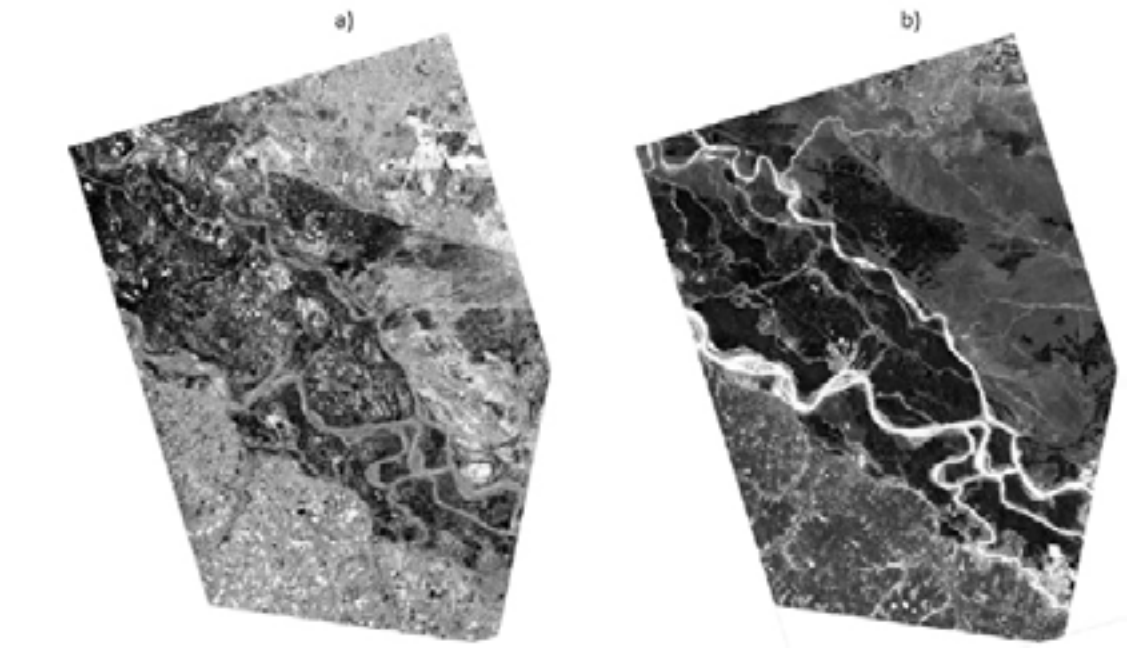


Figura 4 a) ALOS PALSAR: Diferencia en intensidad HV 2007 vs. 2008. Escala de Grises. Blanco: cambios negativos; Negro: cambios positivos (disminución señal HV); Gris: sin cambios. b) LANDSAT TM: indicador NBR: Escala de Grises. Blanco: Valores altos; Negro: valores bajos (mayor daño).

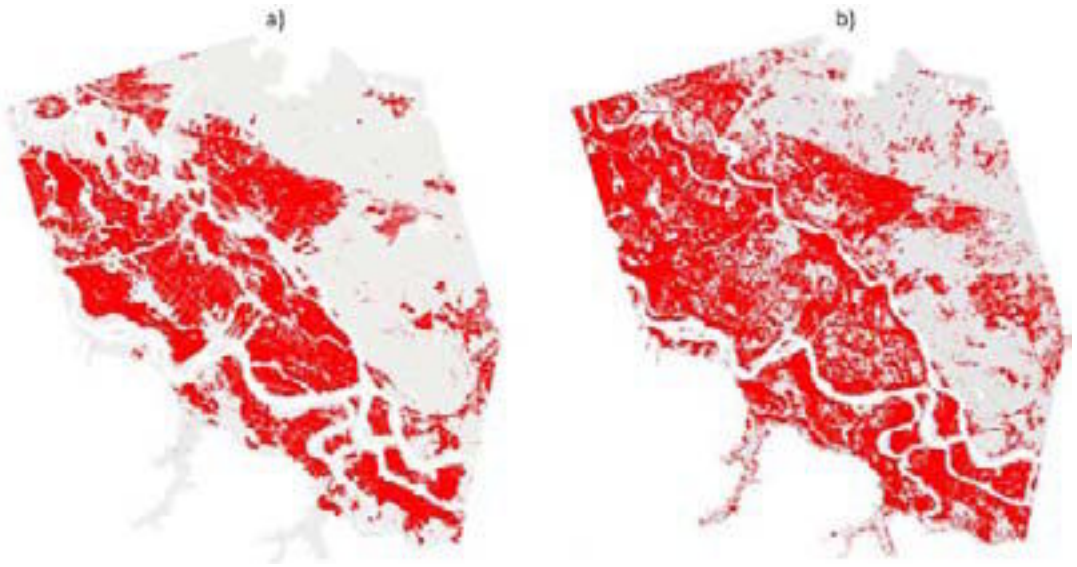


Figura 5. a) Área quemada Landsat TM 6 de Octubre del 2008.
b) Área quemada Imagen ALOS 2007/2008. Colores: rojo: quemado; gris No Quemado; Blanco: no clasificado.

Cuadro 2: Comparación de las clasificaciones de de Área quemada utilizando LANDSAT TM y ALOS PALSAR.

Resultado comparación	Nro. de pixeles	Superficie (ha)	Superficie (%)
ACIERTO QUEMADO	3868260	136720	26.10
OMISION	1296507	45824	8.75
COMISION	2998433	105977	20.23
ACIERTO NO QUEMADO	6656772	235277	44.92
Total	14819972	523797	100.00

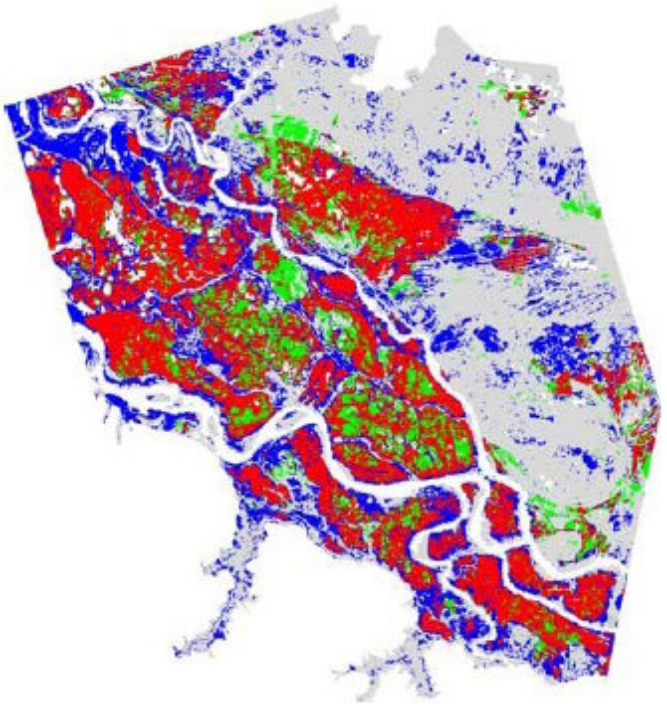


Figura 6: Comparación de ALOS vs TM. Colores: Rojo: Acierto quemado; Verde: Omisión; Azul: Comisión; Gris: Acierto no quemado.

Es de destacar que para la clasificación a partir de la imagen de RADAR, se consideró una clasificación no supervisada en tres categorías (diferencia positiva – quemado, diferencia negativa y sin cambios). La división que se da entre estas categorías puede no necesariamente estar asociada a la identificación de daño por fuego.

La identificación de umbrales que definan estas categorías puede ayudar en este sentido.

La comparación entre focos de calor acumulados durante el período considerado, y las clasificaciones con imágenes LANDSAT (Cuadro 3) y ALOS (cuadro 4), mostró cierta asociación, aunque la superficie estimada como quemada por Hotspots fue en todos los casos menor, como es esperable, dado que sólo identifica los focos de calor presentes en el momento de la captura de la imagen. El resultado de la comparación con ALOS presentó mayor proporción de errores que el de la comparación con LANDSAT.

El cuadro 5 muestra el resultado de las clasificaciones según el tipo de vegetación en la zona de estudio. Se observa que el resultado de la clasificación varió con el tipo de vegetación, mostrando diferencias importantes entre ambos sensores en algunos casos (praderas de herbáceas acuáticas y bosques) y similitudes en otros (juncales). En el caso de praderas de herbáceas acuáticas, es posible que la gran influencia del agua en estos sistemas pueda influir de manera importante en la señal de RADAR y confundir la determinación de daño por fuego. Es de destacar también que la proporción de área quemada fue muy variable entre tipos de vegetación, observándose regiones con muy poca área quemada como los pastizales de gramíneas.

Cuadro 3. Comparación de las clasificaciones de de Área quemada utilizando LANDSAT TM y Hotspots

Resultado comparación	Nro. de pixeles	Superficie (ha)	Superficie (%)
ACIERTO QUEMADO	1665124	58852	11.24
OMISION	3499952	123702	23.64
COMISION	675486	23874	4.56
ACIERTO NO QUEMADO	8967673	316953	60.56
Total	14808235	523382	100.00

Cuadro 4. Comparación de las clasificaciones de de Área quemada utilizando ALOS y Hotspots

Resultado comparación	Nro. de pixeles	Superficie (ha)	Superficie (%)
ACIERTO QUEMADO	1538936	54392	10.39
OMISION	5337154	188636	36.04
COMISION	802279	28356	5.42
ACIERTO NO QUEMADO	7132143	252078	48.16
Total	14810512	523463	100.00

Cuadro 5. Comparación de las clasificaciones de de área quemada utilizando imágenes LANDSAT TM y ALOS PALSAR considerando diferentes tipos de vegetación. COR: Pajonales, PRA: Praderas de herbáceas acuáticas graminoides y latifoliadas; FOR: bosques; JUN: juncales; GRA: Praderas de gramíneas.

Clase	Resultado comparación	Nro. de pixeles	Superficie (%)	Total Aciertos	Clases vegetación (%)	Quemado LANDSAT (%)	Quemado ALOS (%)
COR	ACIERTO NO QUEMADO	1033358	35.16	65.81	20.53	38.65	56.85
	OMISION	234908	7.99				
	COMISION	770119	26.20				
	ACIERTO QUEMADO	901033	30.65				
PRA	ACIERTO NO QUEMADO	516246	41.03	60.50	8.79	24.61	53.82
	OMISION	64756	5.15				
	COMISION	432156	34.35				
	ACIERTO QUEMADO	244919	19.47				
FOR	ACIERTO NO QUEMADO	1123784	52.79	69.40	14.87	19.64	44.18
	OMISION	64529	3.03				
	COMISION	586819	27.57				
	ACIERTO QUEMADO	353516	16.61				
JUN	ACIERTO NO QUEMADO	995674	19.81	66.49	35.11	64.47	62.41
	OMISION	893766	17.78				
	COMISION	790552	15.73				
	ACIERTO QUEMADO	2346909	46.69				
GRA	ACIERTO NO QUEMADO	2603168	87.78	88.42	20.71	1.76	11.09
	OMISION	33458	1.13				
	COMISION	310087	10.46				
	ACIERTO QUEMADO	18767	0.63				

El análisis de la clasificación de área quemada con ALOS PALSAR utilizando umbrales de cambio en el nivel de retrodispersión permitió observar que el % de aciertos (menor nivel de errores), se incrementa hasta un valor óptimo y luego disminuye (Fig. 7). El umbral óptimo sería cercano a una diferencia de 5 dB, observándose para este valor, mayor asociación entre el área quemada identificada con ALOS y con LANDSAT, y un mayor equilibrio entre la proporción de errores de omisión y comisión.

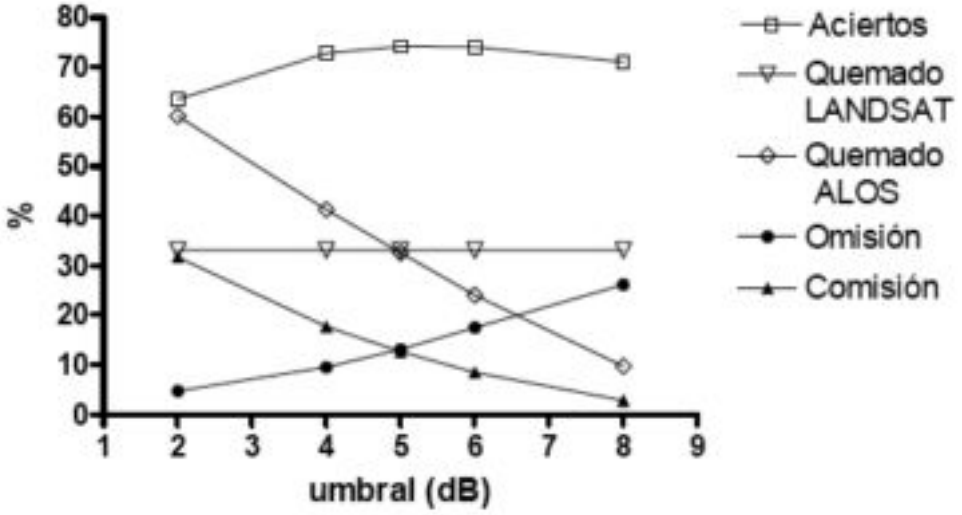
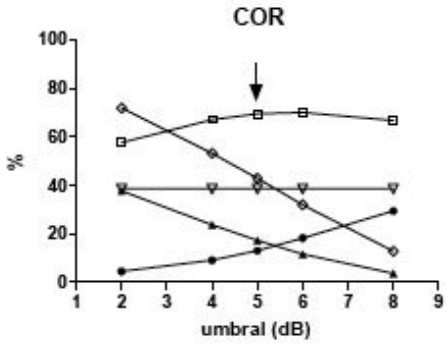


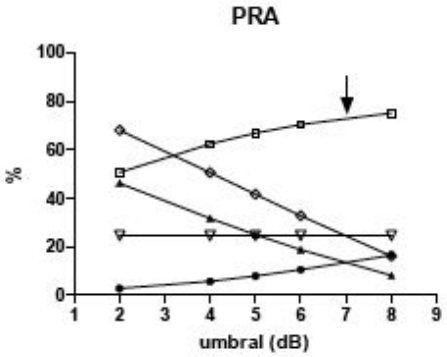
Figura 7. Resultados de la comparación entre clasificaciones LANDSAT y ALOS en función del umbral de disminución en el coeficiente de retrodispersión de la señal de RADAR.

A su vez, considerando cada tipo de vegetación por separado se podrían identificar diferentes umbrales de cambio en la intensidad de retrodispersión (Fig. 8). Los tipos de vegetación con menor nivel de biomasa suelen presentar valores de retrodispersión más bajos, y por lo tanto, la diferencia entresuelo vegetado y suelo desnudo suele ser menor que para el caso de tipos de vegetación con alta biomasa (bosques).

Por esto es esperable que algunos tipos de vegetación como pajonales y juncales requieran umbrales más bajos para la detección de área como quemada que otras de mayor biomasa como los bosques. Lo señalado anteriormente en el caso de las praderas de herbáceas acuáticas puede generar inconvenientes también a la hora de identificar umbrales. Con respecto a los pastizales, la muy baja proporción de área quemada puede generar ruido también al intentar optimizar un umbral de área quemada.

Como resumen se muestra el resultado de la comparación entre imágenes ALOS PALSAR y LANDSAT considerando diferentes umbrales de cambio en el valor de retrodispersión para cada tipo de vegetación (Cuadro 6, Fig. 9). Se observa en este caso niveles de acierto mayores al 77 %, y un mayor equilibrio entre los errores de omisión y comisión. Cabe destacar que aún existen diferencias entre las clasificaciones con ALOS y LANDSAT, seguramente debido a los efectos confundidos al clasificar con ALOS que pueden ser provocados por diferentes niveles de humedad del suelo o del canopeo, o debido a cambios en la dinámica de la vegetación no detectados.





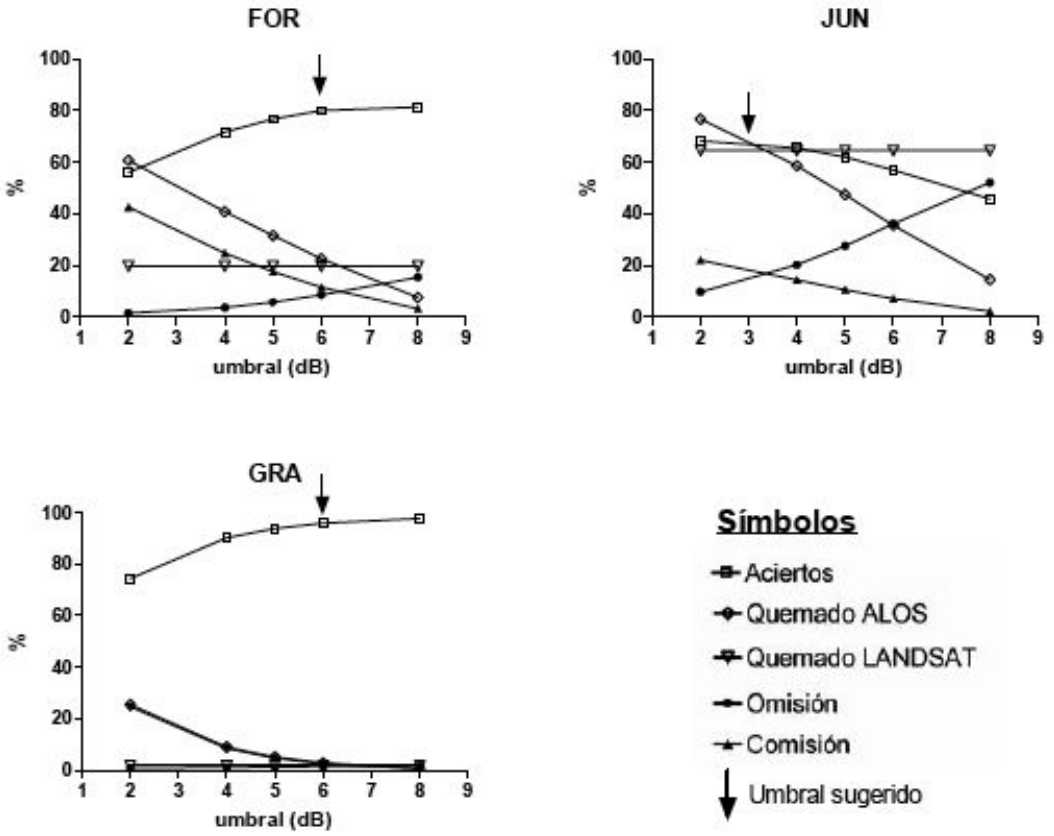


Figura 8. Resultados de la comparación entre clasificaciones LANDSAT y ALOS en función del umbral de disminución en el coeficiente de retrodispersión de la señal de RADAR para cada tipo de vegetación. COR: Pajonales, PRA: Praderas de herbáceas acuáticas graminoides y latifoliadas; FOR: bosques; JUN: juncales; GRA: Praderas de gramíneas.

Cuadro 6. Comparación de las clasificaciones de de área quemada utilizando LANDSAT TM y ALOS PALSAR

Resultado comparación	Nro. de píxeles	Superficie (ha)	Superficie (%)
ACIERTO QUEMADO	3643608	128780	24.58
OMISION	1521343	53770	10.26
COMISION	1873362	66212	12.64
ACIERTO NO QUEMADO	7785969	275187	52.52
total	14824282	523949	100

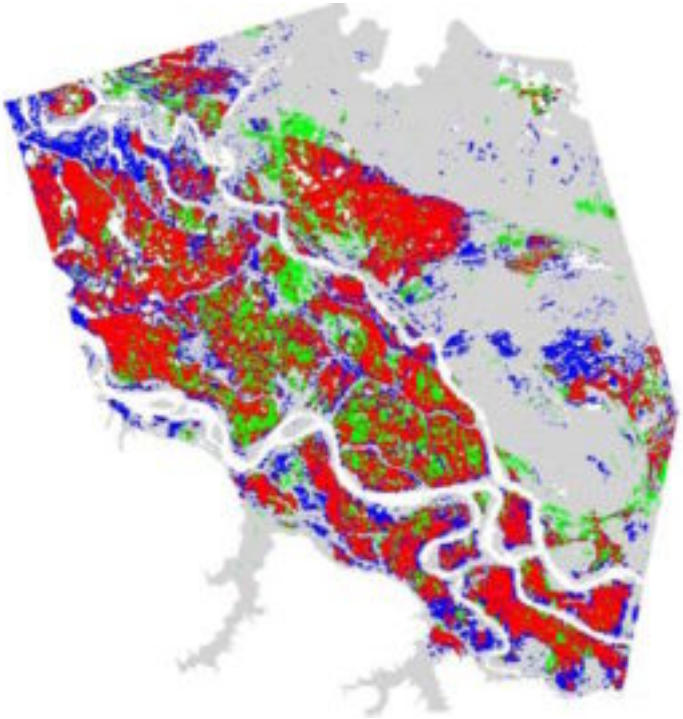


Figura. 9: Comparación de ALOS vs. LANDSAT TM utilizando una clasificación de ALOS con umbral diferencial por tipo de vegetación. Colores: Rojo: Acierto quemado; Verde: Omisión; Azul: Comisión; Gris: Acierto no quemado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se analizó el uso de nuevas tecnologías como las imágenes polarimétricas de RADAR en banda L para la estimación de daño por fuego en la región del delta del río Paraná. Si bien se observó gran asociación entre los resultados obtenidos a partir de imágenes ópticas en relación con las imágenes de RADAR, también se encontraron diferencias entre ambas clasificaciones. En este trabajo se sugieren umbrales de cambio en el valor de retrodispersión de la señal de RADAR para la identificación de áreas quemadas que pueden ser la base de próximos estudios con RADAR en banda L, que hasta el momento han sido escasos. Sería recomendable la realización de nuevos estudios considerando series de imágenes multitemporales y con menor intervalo de tiempo entre su captura.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a JICA (Agencia de Cooperación Internacional del Japón) por la provisión de las imágenes ALOS. Las imágenes LANDSAT fueron obtenidas a través de la Agencia Espacial Brasileña (INPE). Las imágenes MODIS fueron obtenidas a través de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). También agradecemos a Mercedes Salvia por la provisión del mapa de vegetación, a Constanza Caride por sus valiosas recomendaciones, como a Silvia Merino de Miguel.

REFERENCIAS

Borodowski, E. (2008). La forestación en el Delta del Paraná. Actualidad Isleña, 1, 6–8.

Chander, G, Markham, B. (2003). Revised Landsat–5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41, 2674–2677.

Chuvieco, E., Opazo, S., Sione, W., Del Valle, H., Anaya, J., Di Bella, C., Cruz, I., Manzo, L., Lopez, G., Mari, N., Gonzalez, F., Morelli, F., Setzer, A., Csiszar, I., Karpandegui, A., Bastarrika, A., & Libonari, R. (2008). Global burned land estimation in Latin America using MODIS composite data. Ecological Applications, 18, 64–79.

Fraser, R. H., Z. Li, & Cihlar, J. (2000). Hotspot and NDVI Differencing Synergy (HANDS): a new technique for burned

area mapping over boreal forest. Remote Sensing of Environment, 74, 362–376.

Honikel, M., Wegmüller, U. (2000). A Method for the Forest Fire Damage Assessment with SAR and Optical Remote Sensing Data. Fusion on Earth Data, Sophia Antipolis, Francia, 26–28 Enero de 2000.

Huesca, M., González–Alonso, F., Cuevas, J.M., & Merino–de–Miguel, S. (2008). Estimación de la superficie quemada en los incendios forestales de Canarias en 2007 utilizando sinérgicamente imágenes MODIS y anomalías térmicas. Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales, 17, 308–316.

Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O., & Kaufman, Y. (2003). An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. Remote Sensing of Environment, 87, 273–282.

Jensen, J.R. (2000). Remote sensing of the Environmnet: An Earth Resourse Perspective. Upper Saddle River, N.J., Prentice–Hall, Inc.

Justice, C.O., Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D., Csiszar, I., Morisette, J., & Kaufman, Y. (2006). Algorithm technical background document. MODIS FIRE PRODUCTS, version 2.3, EOS ID# 2741. NASA, Washington, D.C.

Justice, C.O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J.T., Roy, D., Descloitres, J., Alleaume, S., Petitcolin, F., & Kaufman, Y. (2002). The MODIS fire products. Remote Sensing of Environment, 83, 44–262.

Karszenbaum, H., Tiffenberg, J.,Kandus, P., Martinez, J.M., Pratolongo, P., Grings, F. (2003). A SAR time series analysis toolbox for extracting fire affected areas in wetland. Actas de IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2003, Toulouse, Francia, 21–25 Jul 2003.

Key, C.H., & Benson, N.C. (2005). Landscape assessment: Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. En: D.C. Lutes (Ed.), FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. General Technical Report, RMRSGTR– 164–CD. Fort Collins, CO. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 1 CD.

Kunst, C.R., Bravo, S., Panigatti, J.L. (2003). Fuego en los ecosistemas argentinos. INTA, Santiago del Estero (2003), 330 p.

Le Toan, T., Quegan, S., Woodward, I., Lomas, M., Delbart, N., Picard, G. (2004). Relating RADAR remote sensing of biomass to modeling of forest carbon budgets. Climatic Change, 67, 379–402.

Liota, 2008. Caracterización de los incendios en el delta del río Paraná entre marzo y octubre de 2008. Documento técnico Fundación OGA.

Malvarez, A.I. (1997) El Delta del río Paraná como mosaico de humedales. En: Malvárez, A. I. (Ed.), Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica (pp. 32–50), Montevideo, Uruguay: MAB UNESCO.

Pereira, J. M. C. 1999. A comparative evaluation of NOAA/AVHRR vegetation indexes for burned surface detection and mapping. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 37, 217–226.

Rosen, P. A., Hensley, S., Peltzer, G., & Simons, M. (2004). Updated Repeat Orbit Interferometry package released. EOS Transactions American Geophysical Union, 85, 47.

Salvia, M., Karszenbaum, H., Kandus, P., & Grings, F. (2009). Datos satelitales ópticos y de radar para el mapeo de ambientes en macrosistemas de humedal. Revista de Teledetección, 31, 35–51

Shimada, M., Minamisawa, M., Isoguchi, O. (2000). A study on estimating the forest fire scar in east Kalimantan using JERS–1 SAR data. Actas workshop on SAR interferometry and its application, EORC NASDA, Tokyo Japan, 7–8 Septiembre de 2000.

Análisis del evolución pos incendio de un área con pasturas naturales aplicando geotecnologías

Uboldi, J. A.[a]; Michalijos, P. A; Barragán, F. [a] y Mancino, M. [a]

[a] **Dpto. de Geografía y Turismo – Universidad Nacional del Sur**

RESUMEN

El área de estudio comprende un sector del Parque Provincial Ernesto Tornquist, ubicado en las Sierras Australes, al sud oeste de la Prov. de Buenos Aires.
El objetivo principal del trabajo fue el de detectar la evolución del pastizal natural utilizando imágenes satelitales, con motivo de la ocurrencia de un incendio intencional el día 20 de enero de 2008, el que se extendió hasta el día 24 del mismo mes. El área incendiada abarcó 1.600 hectáreas, de un total de 6.000 has. que posee el Parque, la cobertura que mas se vio afectada fue la del pastizal y en mucho menor grado la forestal.
Se utilizaron imágenes obtenidas por el sensor Thematic Mapper (226–87), a bordo del satélite Landsat V, obtenidas los días 9 de febrero y 12 de marzo de 2008, sobre las que se aplicaron diversas técnicas digitales: clasificaciones supervisadas, índices de vegetación, análisis de componentes principales, muestreo por píxeles coligados, además de los correspondientes controles de campo.
Comparando digitalmente y en el campo, la cobertura correspondiente al pastizal ubicado en zonas de cresta de cerros y en depresiones, se observa que en el término de un mes se encuentra en franca recuperación, en la imagen del 12 de febrero no se aprecian los deterioros ocasionados por el fuego, realizando los controles de campo, el daño es mínimo.
La rápida regeneración del pastizal no solo recupera el valor paisajístico del área afectada, sino que también evita la erosión hídrica en las laderas de las sierras y provee de pasturas tiernas a los animales.

Palabras clave: Pasturas quemadas, Imágenes satelitales, Estudio multitemporal, Análisis digital

ABSTRACT

The study area includes a sector of the Provincial Park Ernesto Tornquist, located in the Austral Mountain ranges, at the sud west of the Buenos Aires province. The primary target of the work is detect the evolution of the natural pasture using satellite images, on the occasion of the occurrence of an intentional fire the 20th of January of 2008, the one that extended until 24th of the same month. The burned area included 1,600 hectares, of a total of 6,000. The cover that was affected was the pasture and in much smaller degree the forest one. Images obtained by the sensor Thematic Mapper on board the satellite Landsat V (226–87) were used, the chosen dates were 9 of February and 12 of March of 2008, diverse digital techniques were applied: supervised classifications, vegetation index, analysis of main components, sampling by related pixels, besides the corresponding controls of field. Comparing digitally and in the field, the cover corresponding to the pasture located in zones of hill crest and depressions, is observed that in the term of a month it is in frank recovery, in the image of the 12 of February are not appraised the deteriorations caused by the fire, realised the field controls, the damage is minimum. The fast regeneration of the pasture not only recovers the landscaping value of the affected area, but also it avoids the hydric erosion in slopes of the mountain ranges and provides with tender pastures to the animal.

Keywords: Burned pastures, Satellite Images, Multi temporal study, Digital analysis

INTRODUCCIÓN

El fuego es un factor ecológico natural que tiene una gran influencia en la evolución de las especies y en la dinámica de la vegetación de los pastizales naturales. Su ocurrencia forma parte de la estabilidad del ecosistema, incidiendo sobre distintas propiedades del suelo y sobre la biota que se desarrolla en él. Sin embargo el fuego adquiere dimensiones más dramáticas cuando afecta económicamente el patrimonio del hombre.
El Parque Provincial Tornquist, de 6.000 has, está ubicado en el partido homónimo, sobre la ruta provincial Nº 76 Km 225, dentro del Sistema de Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires (Fig. 1)

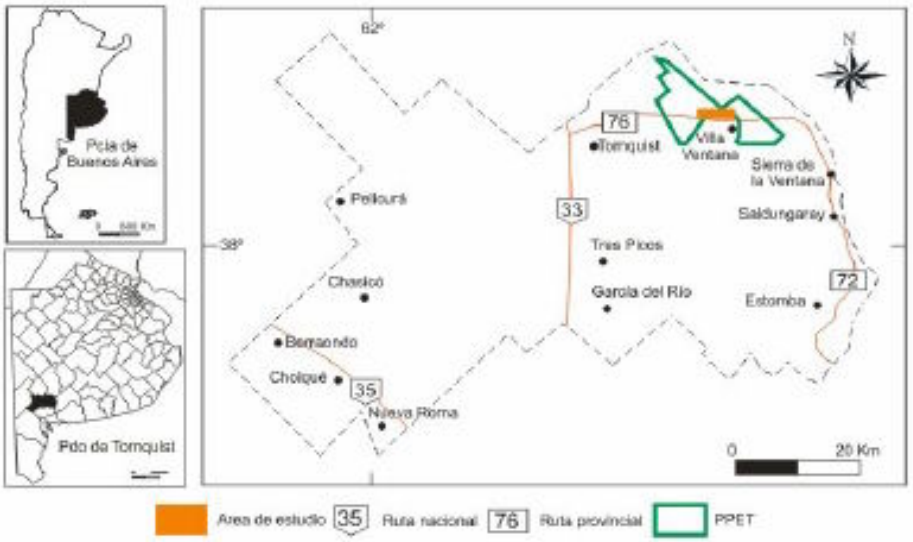


Fig. 1: Área de estudio

Pese a su condición de Parque Provincial, agricultores que poseen parcelas cercanas, aprovechan las pasturas del Parque para alimentar su ganado, en consecuencia la presencia del pastizal natural adquiere una importancia económica, además de la condición de patrimonio natural para la región Durante el período estival (seco y cálido), el riesgo de ocurrencia de incendios se multiplica, La temperatura media es de 20º C, con máximas absolutas de 35º C a 40º C. La vegetación se ve beneficiada en su desarrollo por inviernos húmedos y fríos en donde la temperatura media es de 8º C, la mínima absoluta desciende hasta los −10º C, produciéndose heladas y nevadas ocasionales, el régimen anual de precipitaciones es de 735 mm, ocurriendo la mayor cantidad de las lluvias en invierno, mientras que en verano existe déficit de agua.

Estas características crean las condiciones propicias para la ocurrencia de incendios, el origen del fuego puede ser natural (caída de rayos) o antrópico, siendo este último el factor desencadenante de la mayor cantidad de siniestros ocurridos en la zona, inclusive el caso que nos ocupa en el presente trabajo, ocurrido entre los días 20 y 24 de Enero de 2008.

En el periodo 1999−2006, en el partido de Tornquist, se registraron 402 incendios que consumieron 86724 has, siendo su principal causa la negligencia humana, y específicamente dentro del Parque, en los últimos 12 años, hubo 19 incendios que afectaron 8.000 has. (SAyDS).

OBJETIVOS

El objetivo principal del trabajo es analizar la capacidad de regeneración de las pasturas naturales. El objetivo secundario es delimitar con exactitud el área incendiada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se busca cumplir los objetivos mencionados a partir del análisis digital y visual de imágenes satelitales y la elaboración de una cartografía temática específica.

Las ventanas de trabajo se realizaron sobre las imágenes obtenidas por el satélite Landsat V, sensor TM, obtenidas los días 9 de Febrero (Fig. 2) y 12 de Marzo de 2008 (Fig. 3).

Sobre las áreas de interés delimitadas en las imágenes Landsat se realizó el procesamiento digital con el objetivo de realzar el área quemada y analizar el desarrollo y evolución de la cobertura vegetal.

El tratamiento digital implicó en primer lugar la corrección geométrica, atmosférica y radiométrica de las ventanas ubicadas sobre el área de interés.

Sobre las ventanas originales se realizó en primer lugar una combinación RGB 432 (R: 0,7 a 1,1 µ; G: 0,6 a 0,7 µ y B: 0,5 a 0,6 µ), sobre ambas fechas se tomaron muestras de radiancia sobre píxeles coligados (mismo píxel en cada ventana de ambas fechas), seleccionando dos sectores, uno de ellos son las depresiones, sitio en donde se concentra la humedad y existe mayor profundidad de suelo, y el otro en los sectores altos de las colinas conformadas por los esquistos, en donde existe menor humedad y roca aflorante, este procedimiento se realiza para detectar el crecimiento de la vegetación, predominantemente pasturas, ya que de la combinación de bandas realizada es posible construir la curva espectral de la vegetación y analizar su comportamiento en el espectro visible e infrarrojo cercano y en las fechas seleccionadas.

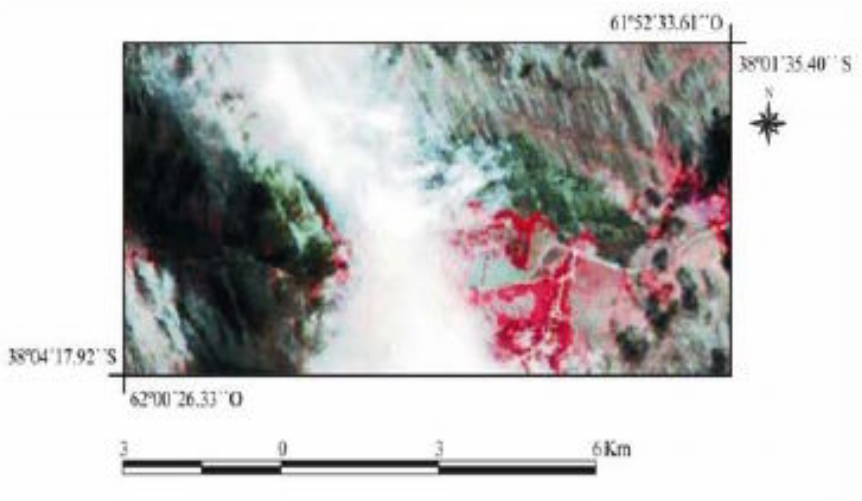


Figura 2: Ventana de la imagen del 9 de Febrero

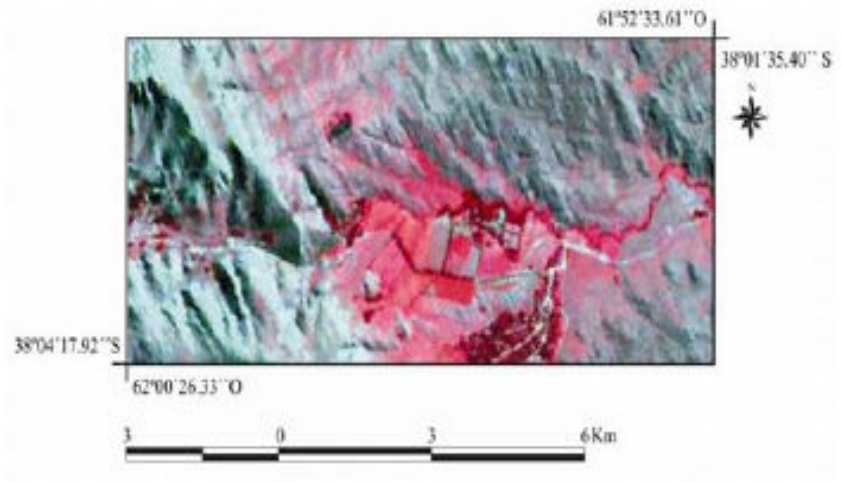


Figura 3: Ventana de la imagen del 12 de Marzo

La presencia parcial de nubes, que cubre un sector del área incendiada en la imagen del 9 de Febrero, motivó la realización digital de productos derivados tales como índices de vegetación (Figs. 4 y 5) y análisis de componentes principales, tratando de minimizar el efecto nuboso y buscando el realce del área quemada para realizar su delimitación con la mayor exactitud posible, en consecuencia se construyeron sobre ambas imágenes índices de vegetación útiles en el análisis de la evolución multitemporal de la vegetación, se realizó también un análisis de componentes principales, tratando de realzar el área quemada.

Los índices espectrales de vegetación son transformaciones que se realizan para caracterizar las cubiertas vegetales, reforzando la contribución espectral (Pinilla, 1995). Estos índices varían entre 1 y −1, cuanto mayor sea el resultado, mayor vigor vegetal presenta la vegetación, característica que se traduce en la imagen con tonos de gris muy claros, en contraste con aquellos sectores en los que existe escasa presencia o ausencia total de vegetación, en donde los tonos de grises van de gris medio a negro, en este principio se basan la mayoría de los índices de vegetación, combinando las bandas roja e infrarroja cercano del espectro (Fórmula 1).

$$NDVI = (irc - r) / (irc + r)$$

Fórmula 1: Índice Normalizado de vegetación

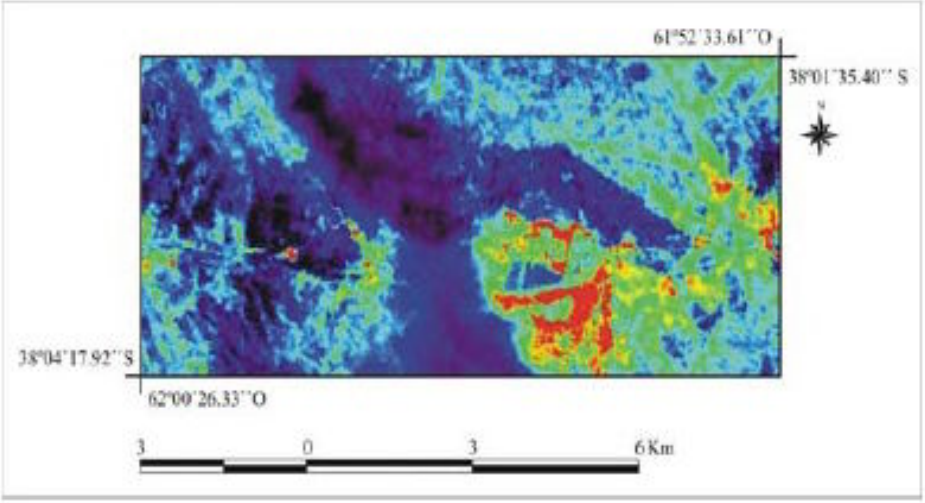


Figura 4: Índice de vegetación realizado sobre la ventana del 9 de Febrero

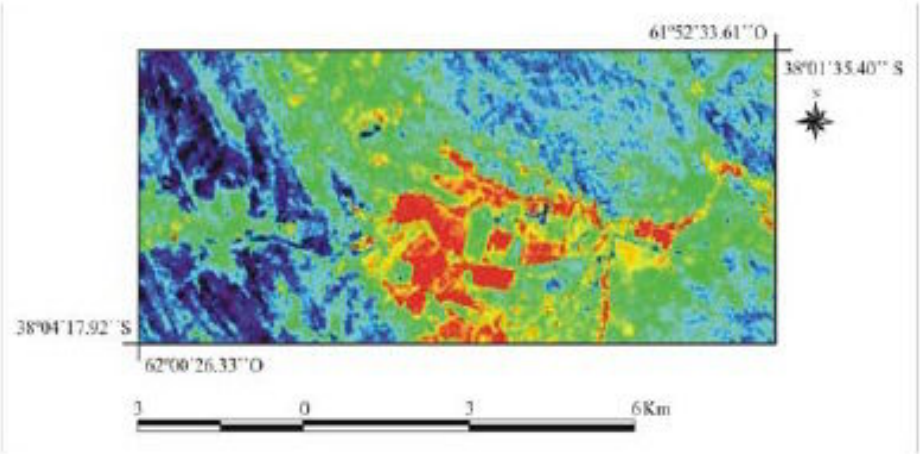


Figura 5: Índice de vegetación realizado sobre la ventana del 28 de Marzo

El NDVI posee una alta correlación con el índice de superficie foliar (LAI), con la biomasa y con la actividad fotosintética (Roque Casanova, J.L., 2000), siendo un buen indicador de la salud y actividad del vegetal, es hoy en día uno de los elementos clave para el estudio de los incendios, ya sean de pasturas o forestales, tanto en lo correspondiente a la estimación del riesgo como a la determinación del área quemada.

El Análisis de Componentes Principales tiene como objetivo resumir un grupo amplio de variables en un nuevo conjunto, más pequeño, sin perder una parte significativa de la información original. En nuestro caso el análisis se realizó sobre seis bandas del sensor Thematic Mapper (no se consideró la correspondiente al infrarrojo térmico).

RESULTADOS

Se realiza la comparación píxel a píxel de los valores digitales de radiancia correspondientes a las fechas 9 de Febrero y 12 de Marzo de 2008, la figura 6 surge del promedio de los valores muestreados en las depresiones existentes en el área incendiada.

En ella, la curva correspondiente a los datos del 9 de Febrero es el resultado de una notable ausencia de vegetación, siendo más representativa de la curva espectral del suelo descubierto. Su carácter plano ascendente se debe a que en el intervalo 0,52 a 0,60 μ no existe una notable prominencia correspondiente a la presencia de clorofila, entre 0,63 a 0,69 μ, no existe el valle originado en la absorción de energía para producir la clorofila que caracteriza en nuestro caso la presencia de pasturas, y finalmente, en el

intervalo 0,76 a 0,90 µ la curva muestra una dirección levemente ascendente, comportamiento que indica ausencia de vegetación, ya que esta se caracteriza por una alta radiancia en el Infrarrojo cercano

Observando la curva obtenida con los valores correspondientes al 12 de marzo, esta presenta claramente las características representativas de la presencia de vegetación con clorofila.

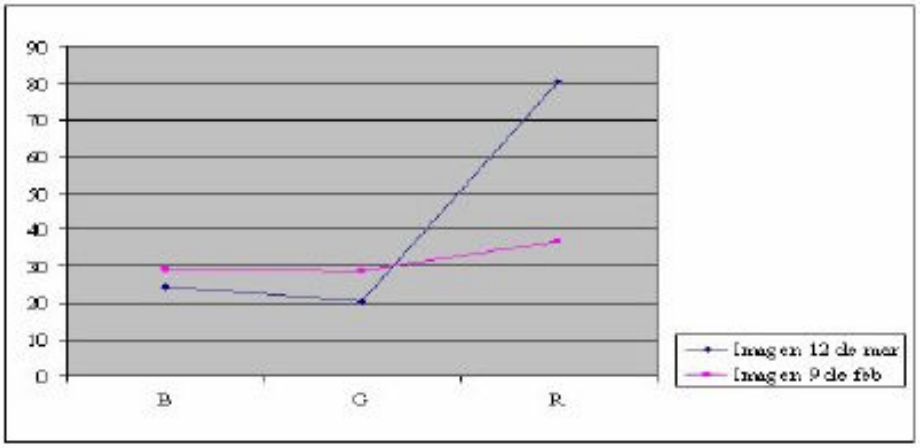


Figura 6: Muestreo en áreas deprimidas

La figura 7, muestra las curvas construidas a partir de muestras tomadas en los sectores elevados (menor presencia de vegetación). Las respuestas obtenidas son las esperadas tanto para el 9 de febrero como para el 12 de marzo, en el caso de la primera fecha, ausencia total de vegetación, mientras que para la segunda fecha presencia de vegetación en crecimiento (aunque en menor grado que su equivalente de la figura 6).

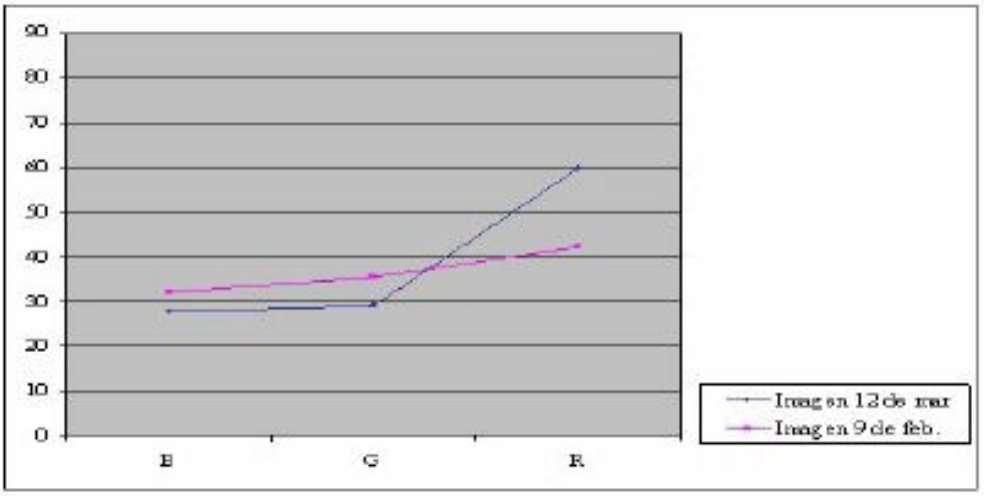


Figura 7: Muestreo en sitios elevados

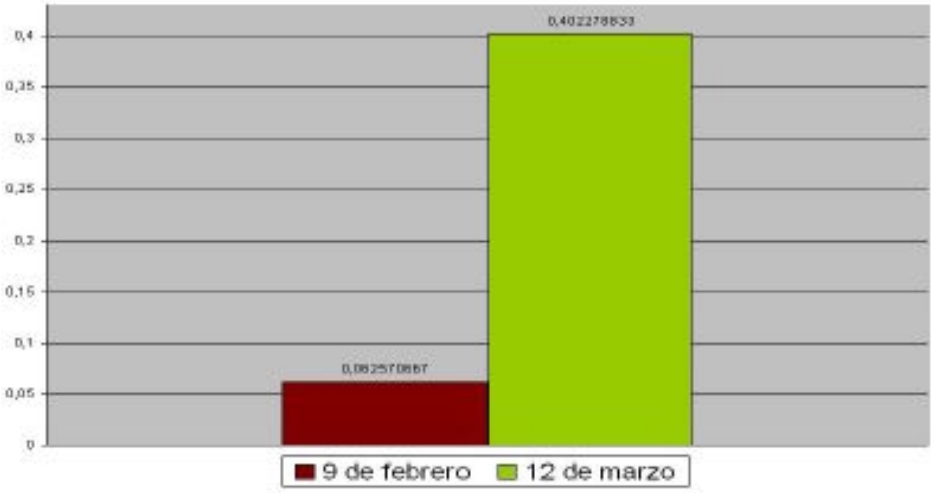


Figura 8: Resultado del muestreo realizado sobre los índices de vegetación

Cabe recordar, que las gramíneas pueden recuperarse rápidamente después de un incendio, debido a que la yema de crecimiento está en la base de la planta. Además al observar un pastizal solamente se esta viendo entre un 30 y 40% de la biomasa vegetal, el resto está enterrado en el suelo, conformando las raíces.

Es por ello la diferencia de valores analizados entre las imágenes del 9 de febrero y 12 de marzo.

Con respecto a la utilización de los índices de vegetación en el análisis de la regeneración del pastizal, la apreciación se realiza por un lado a partir de la visualización de las imágenes obtenidas para las dos fechas consideradas (Fig. 4 y 5), en donde los colores fríos (verde, celeste, azul) y el negro indican ausencia de vegetación, mientras que los colores cálidos (amarillo, naranja y rojo) muestran aquellos sectores en donde existen diferentes grados de vigor vegetal, por otro lado se compararon los valores promedio obtenidos de 25 muestras de píxeles coligados en ambas fechas, dando lugar al gráfico de la fig. 8, en donde es evidente que los valores correspondientes a la imagen del 12 de Marzo, al ser mayores, indican una actividad clorofílica incipiente, corroborando los aspectos colorimétricos de los índices en la zona del incendio, con los trabajos de campo realizados el 9 de Febrero y el 15 de Marzo, en donde fue posible comprobar una franca recuperación del pastizal.

Analizada la evolución de la vegetación dentro del área quemada, resta determinar la extensión de la misma, referido a este aspecto y de la realización de estudios previos, los mejores resultados fueron obtenidos a través del análisis de componentes principales, considerando en particular el cuarto componente principal, ya que en la imagen resultante el área quemada se manifiesta en tonos de grises muy claros, casi blancos, mientras que la formación nubosa se diluye y aparece en tonos de grises oscuros, contrastando notablemente con el área quemada. (Fig. 9)

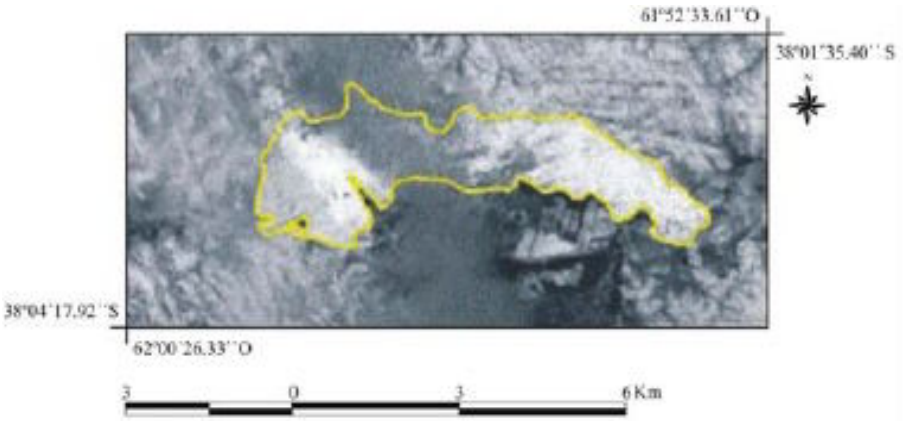


Figura 9: Análisis de componentes principales y delimitación del área quemada

Las características mencionadas referidas al cuarto componente, se deben indudablemente a que este sintetiza las características de las longitudes de onda correspondientes al infrarrojo, las que al poseer una frecuencia mas corta que las radiaciones visibles, poseen mayor penetración en la atmósfera, la presencia de suelo al descubierto en relación a su entorno, hace que este sector se manifieste en tonos claros, este análisis es recomendable realizarlo antes de efectuar la corrección geométrica de la imagen. El área incendiada comprende un total de 1.600 has.

CONCLUSIONES

Es evidente la utilidad de las geotecnologías en la evaluación y evolución de las áreas afectadas por incendios, el análisis digital multitemporal de las imágenes permitió un seguimiento del desarrollo de la cobertura vegetal afectada, predominantemente pastizal (Stipa), análisis reforzado por los controles de campo realizados, en donde se corroboró el progreso detectado en las imágenes, otra especie en franca recuperación (semejante a la del pastizal) y que lamentablemente tiene características invasivas es la retama (Spartium junceum). Con respecto a la cobertura forestal, se vieron afectadas especies del genero Pinus, cuya capacidad de regeneración es también alta, pero a largo plazo.

A menos de dos meses después de ocurrido el incendio, en la imagen correspondiente al 12 de Marzo de 2008, no se detectan indicios del mismo en las imágenes (aunque si en los controles de campo). Esta rápida recuperación de la vegetación impidió que actúen procesos erosivos, principalmente hídricos, sobre la tierra descubierta.

La elaboración de productos especiales, tales como los índices de vegetación y el cuarto componente principal, complementó el análisis cuantitativo referido a los valores de radiancia de los elementos pictóricos (píxel) correspondientes a la vegetación, destacando aspectos no apreciables a simple vista en las imágenes, tales como la regeneración de la cobertura vegetal y el límite del área quemada, minimizando a su vez los aspectos atmosféricos referidos a presencia de nubes en la imagen correspondiente al 9 de Febrero.

Esta delimitación permitió también evaluar la proximidad del área incendiada a las estructuras construidas, dato no menor ya que pese al despliegue de medios para combatir el fuego, determinadas construcciones, inclusive la localidad de Villa Ventana, corrieron un riesgo concreto de sufrir los efectos del fuego.

REFERENCIAS

Casanova Roque, J.L. 2000 (ed): Remote Sensing 21 st Century: Economic Environmental Applications. Rotterdam: Balkema.

Pinilla Ruiz, C.1995: Elementos de Teledetección. RA−MA, Madrid, España. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS). Dirección de Bosques. Programa Nacional de Estadística Forestal.

Monitoreo de los cambios en el comportamiento de algunas lagunas debido a la oscilación climática utilizando imágenes satelitales en la puna jujeña

Maggi, A.E.[a]; Navone, S. M. [a]y Kindgard, F. A. [a]

[a] **Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires**

RESUMEN

La Puna argentina es una altiplanicie sobre 3500 m.s.n.m. de clima árido ubicada en el extremo noroeste del país. Corresponde a parte de las provincias de Jujuy, Salta y Catamarca. La vegetación preponderante es de estepa arbustiva y en zonas asociadas a cuerpos o cursos de agua se puede encontrar humedales.
Fueron usadas varias imágenes Landsat (MSS, TM y ETM+), sin nubes. Las fechas de adquisición han sido escogidas para los meses de Agosto y Septiembre coincidiendo con el final de las fases de La Niña/El Niño.
Las imagines Path 232/231 Row 075/076 se registraron a partir de imagines ortorectificadas. Para el mapeo de las lagunas se utilizó el sistemas de coordenadas Universal Transversal Mercator UTM 19S, el mismo se aplico a todas las imágenes.
Los registros de lluvias habían sido provistos por la Estación agro meteorológica del INTA Abra Pampa y fueron ordenados considerando la estación de lluvias monzónicas desde Julio a Junio.
En este trabajo se estudiaron las relaciones existentes entre las oscilaciones climáticas y el comportamiento de la superficie del espejo de agua de algunas lagunas de la Puna Jujeña.
Como resultado del estudio se muestra una relación directa entre las precipitaciones y el crecimiento y disminución de la laguna de Pozuelos. Ello solo se observo durante los eventos Fuertes o de extrema magnitud, es decir cuando todas las metodologías coinciden en considerar eventos El Niño y La Niña (WRCC, CDC, CPC y MEI), 1989 Fuerte La Niña y 1998 Fuerte El Niño respectivamente.
La validación del modelo que utiliza a las imágenes satelitales para cuantificar las superficies de las lagunas como un indicador confiable de las oscilaciones climáticas, aún no es lo suficientemente consistente y requerirá de una mayor serie de imágenes. Las escenas deberían elegirse considerando las fases El Niño/La Niña definidas a partir de la lista del consenso, por los diferentes métodos (WRCC, CDC, CPC y MEI).

Palabras claves: ENSO, Puna, Landsat, Laguna endorreica.

ABSTRACT

The Puna in Argentine is a high plateau on 3500 MASL with a dry climate located in the extreme northwest of the country. It corresponds to part of the provinces of Jujuy, Salta and Catamarca. The dominant vegetations are a bush steppe and wetlands which are in the moist soils near the water sources.
Several Landsat images (MSS, TM and ETM+), free of clouds were used. The dates of acquisition had been chosen from August to September at the end of La Niña/El Niño phases.
The images Path 232/231 Row 075/076 were registered using orthorectified images as base. The Universal Transverse Mercator Coordinate System UTM 19S was used for mapping the lagoons, based on WGS84. This system was applied on all the available data sets.
The rainfall records have been provided by the agrometeorological service of INTA Abra Pampa and they were sorted considering the monsoon station from July to June.
In this work, the relationship between the climatic oscillations and the behavior of the water surface in some lagoons of the Puna Jujeña is studied.
As a result of this study, a direct relation between precipitations and the increase or decrease in the surfaces of the Lagoon of Pozuelos is shown. This is only observed during the strong events or in extreme magnitude, when in almost all methodologies are considered for El Niño and Niña events (WRCC, CDC, CPC and MEI), 1989 Strong La Niña and 1998 Strong El Niño respectively.
The validation of the model that using satellite images to quantify the surfaces of the lagoons as a reliable indicator of the climate oscillations, is not consistent enough and should be required a greater series of images. The scenes should be chosen according to phases of El Niño/La Niña taken from the consensus list defined among the different methods (WRCC, CDC, CPC and MEI).

Keywords: ENSO, Puna, Landsat, Endorheic lagoon.

INTRODUCCIÓN

La Puna argentina es una altiplanicie sobre 3500 m.s.n.m. de clima árido ubicada en el extremo noroeste del país. Corresponde a parte de las provincias de Jujuy, Salta y Catamarca. La vegetación preponderante es de estepa arbustiva y en zonas asociadas a cuerpos o cursos de agua se puede encontrar humedales. Tiene una fuerte estacionalidad de las lluvias que se presentan concentradas durante los meses de verano. Existe una marcada amplitud térmica con temperaturas, características de zonas áridas.

No existen grandes ríos que recorran la región, siendo las cuencas endorreicas con salares o lagunas en los piedemontes, el sistema de drenaje mas importante.

Los suelos son poco desarrollados donde se los encuentra y un gran proporción de la superficie esta cubierta por roca aún no meteorizada. Limita en las alturas con la provincia fitogeográfica Alto andina, diferente de la primera en el clima y la vegetación.

Las precipitaciones de la puna, como se ha demostrado en otro ecosistemas áridos sufre una gran variabilidad interanual de las precipitaciones (Ezcurra, 2006). La disponibilidad de agua pluvial es fundamental en numerosos procesos que afectan desde los procesos físico-químicos hasta la productividad primaria neta de los autótrofos, regula las poblaciones de herbívoros y determina la disponibilidad de agua para los hombres.

Se han realizado numerosos estudios a partir de documentos históricos así como con técnicas de estudio paleoclimáticas que demuestran la existencia de oscilaciones del clima y particularmente de las precipitaciones en el Altiplano a lo largo de la historia del planeta. (Prieto y García Herrera, 2008; Quinn y Neal, 1983; Ropelewski y Halpert, 1987).

Considerando solamente el fenómeno ENSO, es importante señalar que no existe una única manera para identificar las fases (el Southern Oscillation Index (SOI), el Niño 3.4 Index, el Niño 3 Index, o el Multivariate ENSO Index) y aún no hay consenso sobre cuál es el método más adecuado. Una consecuencia de esto es que, aunque están claro qué períodos corresponden a Niños fuertes, no ocurre lo mismo con Niños moderados o débiles, encontrándose divergencias entre las distintas fuentes de información. (Report on the IAI Workshop on ENSO and Interannual Climate Variability, 1994; Informe Final IAI ENSO –Argentina, 2004).

En Sudamérica, los Niños de gran intensidad suelen ocasionar inundaciones en el sur de Brasil, Paraguay, Uruguay y el norte-nordeste de Argentina, inundaciones repentinas en las llanuras costeras del sur de Ecuador y norte de Perú, sequías severas en el noreste de Brasil y sequías en la región del altiplano andino.

El evento de El Niño, como fenómeno integrado (hidrográfico y climático), por su aperiodicidad (no se produce a intervalos de tiempo determinados), interrumpe no solo los regímenes de oleaje e hidrográfico, sino también todos los órdenes de la vida a través de cambios ambientales en los espacios considerados. (Carpio, 1999).

Estos eventos ocasionan severos daños y pérdidas en la sociedad, por ejemplo, el de 1982-1983 dejó daños en varios países que alcanzaron los 13 billones de dólares y unos 2000 muertos (Glantz, 1984).

La laguna de Guayatayoc (Figura 1) es un cuerpo lacustre semi permanente que recibe las aguas de toda la cuenca endógena a la que pertenece. Tiene asociados sistemas de humedales asociados a diferentes zonas de la laguna. Estos frágiles ecosistemas son regularmente sometidos a altas cargas ganaderas, que combinadas con ciclos secos donde la susceptibilidad de las comunidades vegetales aumenta, pueden desencadenar procesos de desertificación. Las poblaciones migratorias de flamencos dependen fuertemente de la duración y expansión del espejo de agua que es sustrato del zooplancton del que se alimentan cada ano. A su vez, la producción ganadera de camélidos y ovinos se basa en el forraje natural que producen las estepas y pastizales de la cuenca. Esta producción anual de forraje y su distribución en el año esta directamente relacionada con las precipitaciones. La carga ganadera que soportan apropiadamente las estepas en años de lluvias promedio es excesiva para los años secos y desencadena la desertificación (Vorano y Vargas Gil, 2002).

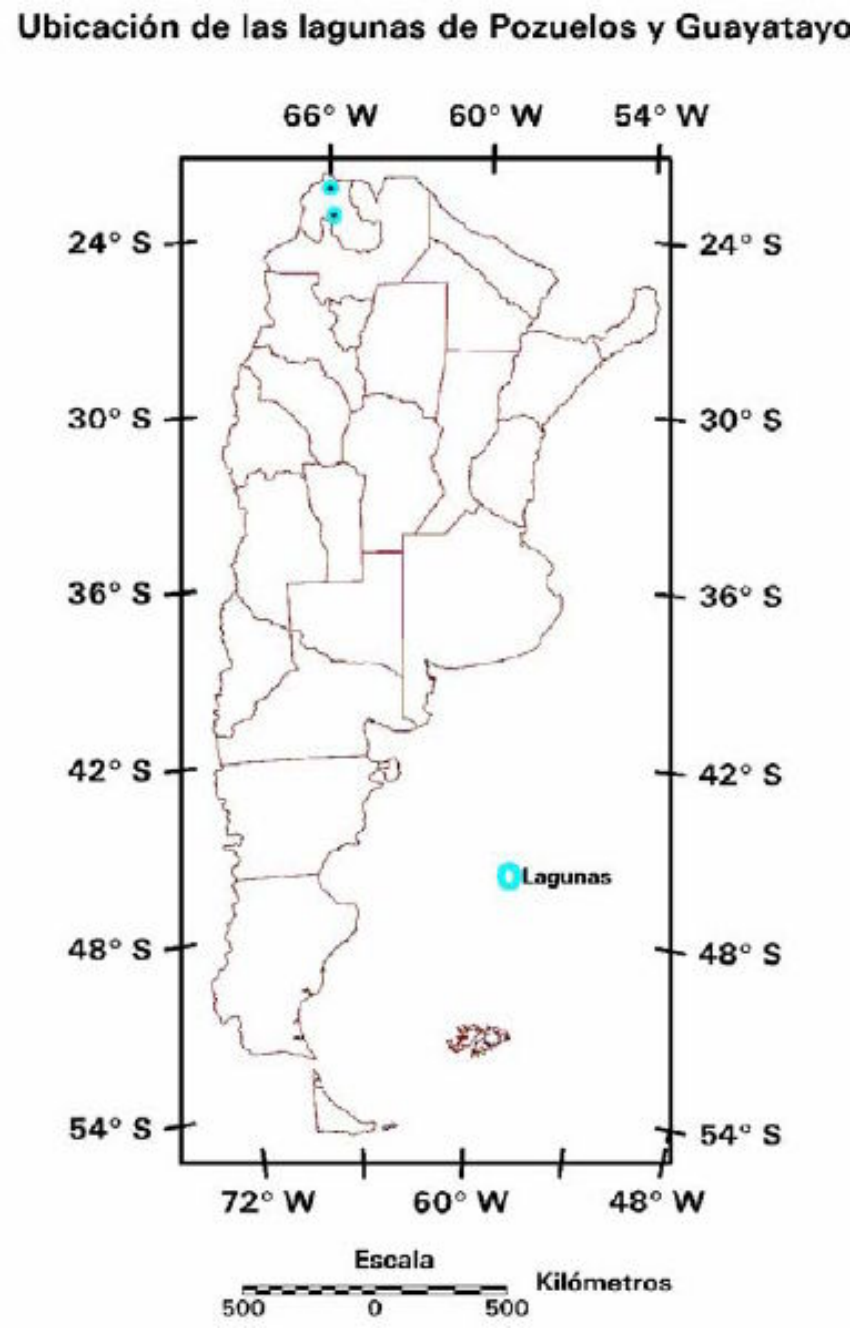


Figura 1. Ubicación de las lagunas al N Pozuelos al S Guayatayoc en el área de estudio

Las poblaciones obtienen el agua de bebida de las napas freáticas que se recarga anualmente con los aportes pluviales. Frecuentemente al final del período seco las poblaciones deben ser auxiliadas con agua de otras regiones, además de restringir su consumo y la posibilidad de irrigación de los pocos cultivos de subsistencia que se encuentran en la cuenca.

La Laguna de Pozuelos (Figura 1) se sitúa sobre una planicie a 3.600 m de altura y constituye uno de los humedales más importantes a nivel internacional, incluida en la lista de la convención de Ramsar. Esta es una laguna permanente pero de salinidad fluctuante. En la estación seca, quedan al descubierto grandes áreas cenagosas y una rica pradera junto a la laguna, que es usada por los lugareños para pastoreo, en su mayoría de ovejas y llamas, especialmente en el invierno austral. La población de flamencos asciende a 25.000 ejemplares, conviviendo tres especies: el flamenco austral, la Parina grande y la Parina chica, estas últimas nativas de la Puna.

A pesar de la alta variabilidad de las precipitaciones y la importancia que tiene en muchos procesos, no hay estudios que permitan predecir los efectos de las variaciones, anticipar los ciclos y tomar medidas preventivas a distintos niveles de decisión.

Existen algunas evidencias sobre las precipitaciones y el fenómeno ENSO en otras regiones andinas (Bianchi, 2005; Garreud, 2001) de observarse en nuestra región de estudio permitirían predecir con anticipación la probabilidad de ciclos húmedos o secos. A su vez los mecanismos que relaciona este fenómeno de circulación general de la atmósfera con las precipitaciones a escala local son más inciertos y han sido propuestos diferentes modelos para la región andina.

Tampoco se conoce que interrelación hidrológica existen entre años sucesivos.

Considerando que existe una serie histórica de imágenes satelitales que permiten cubrir los principales eventos del fenómeno ENSO en las últimas décadas se han realizado algunos intentos para estudiar los efectos del cambio climático dentro de la zona de la Puna jujeña con imágenes satelitales, mediante la observación en los cambios de algunas geoformas. (Maggi et als, 2005; Kindgard, Navone, y Maggi 2008).

En un contexto de escasa información meteorológica, el uso de sensores remotos resulta una herramienta promisoria para analizar los últimos treinta anos de precipitaciones y su impacto sobre una variable respuesta del sistema hidrológico como es la expansión total del espejo de agua de las lagunas de Guayatayoc y Pozuelos durante la fase La Niña.

En este trabajo se estudiaron las relaciones existentes entre las oscilaciones climáticas y el comportamiento de la superficie del espejo de agua de algunas lagunas de la Puna Jujeña.

MATERIALES Y MÉTODOS

El fenómeno ENSO no tiene una única definición. Hay diferentes criterios para determinar los años Niño, Niña o Neutros. A veces se llega a un consenso como el presentado en la tabla 1, con el agregado de si es un fenómeno fuerte o débil. (Null, 2007).

A partir de la información suministrada por esta tabla de consenso se realizó la búsqueda de la mayor parte de imágenes Landsat MSS, TM y ETM+ sin nubes y con fecha coincidente con la finalización de las fases de El Niño y La Niña correspondientes al fenómeno ENSO. Tabla 1. Se utilizaron imágenes Landsat MSS, TM y ETM + porque existen registros desde 1972, la distribución de bandas permite delimitar con facilidad cuerpos de agua y la resolución espacial es apropiada para la escala 1 : 100.000 de este estudio. Se escogieron escenas correspondientes a los meses de agosto o septiembre ya que estos coinciden con el final de la época seca o antes del inicio del ciclo monzónico. Las mismas fueron provistas por CONAE, INPE y la USGS. Si bien hubiese sido interesante utilizar las imágenes de septiembre de 1983 y 1995, al no encontrarse disponibles, estas no se pudieron incluir en el análisis. Tabla 2.

Las imágenes Path 232/231 Row 075/076 fueron registradas a partir de de imágenes orthorectificadas del GLCF UTM 19S WGS84. La Laguna de Pozuelos al poseer un cuerpo de agua homogéneo permitió el uso del algoritmo SAM para clasificar el área con agua de las lagunas, mediante el ajuste de las Rule Images se logro identificar los cuerpos de agua que fueron exportados como shapefile, se vectorizó la clasificación y se calculo superficie cubierta por el espejo de agua. Para la delimitación de la superficie en la Laguna de Guayatayoc y debido a su mayor dispersión del cuerpo de agua, se utilizo la combinación falso color de las bandas del infrarrojo cercano (banda 4) en el canal rojo, y las dos bandas del infrarrojo medio (Bandas 5 y 7) en los canales verde y azul respectivamente.

Estas bandas son seleccionadas por las características espectrales de los cuerpos de agua y zonas húmedas (Frazier y Page, 2000). Los mismos presentan una baja reflectancia en el rango de 0,76 a 0,9 micrones (banda 4), y nula reflectancia en los rangos superiores a 1,3 micrones, donde se encuentran la banda 5 (1,55 a 1,75 micrones) y la banda 7 (2,08 a 2,3 micrones). A su vez el suelo desnudo, cobertura preponderante de la cuenca, presenta valores crecientes de reflectancia a medida que las longitudes de onda son mayores. Para las imágenes Landsat MSS se utilizó la combinación falso color de las de las bandas del infrarrojo cercano (banda 7 y 6) en los canales rojo y verde respectivamente y la banda del rojo en el canal azul. Esta combinación, permite delimitar el cuerpo de agua del suelo desnudo y húmedo.

Esta delimitación del polígono se realizó a través de la digitalización de la interpretación por análisis visual de las imágenes listadas en el estudio. La superficie de los cuerpos de agua se cuantifico usando una

extensión del Arc View Gis (XTOOLS), que calcula la superficie a partir de polígonos delineados.

Para cuantificar la superficie en la Laguna de Guayatayoc solo se considero el sector norte, exceptuándose del análisis el salar ubicado al sur debido a su menor ajuste con la estación lluviosa.

Tabla 1. Años Niño y Niña, ver columna de Consenso. W = episodios cálidos // C = episodios fríos // − intensidad débil // + intensidad fuerte. Centro del Clima Regional del Oeste (Western Regional Climate Center − WRCC); CDC− Climatic Data Center; CPC Climate Prediction Center CENTRO DE PREDICCIONES CLIMATICAS y Multivariate ENSO Index (MEI). Fuente: Jan Null, CCM, 2004.

Consenso de años El Niño y La Niña					
Verano	WRCC	CDC	CPC	MEI	Consenso
1950-51	C+	C	C	C	La Niña
1951-52	W+		W-		
1952-53					
1953-54	W		W-		
1954-55			C	C-	
1955-56	C+		C+	C	Fuerte La Niña
1956-57	C		C-	C-	Débil La Niña
1957-58	W	W	W+	W	El Niño
1958-59			W+	W-	
1959-60					
1960-61					
1961-62				C-	
1962-63				C-	
1963-64	W		W-		
1964-65	C		C	C-	La Niña
1965-66	W+	W	W	W	El Niño
1966-67				C-	
1967-68				C-	
1968-69			W	W-	
1969-70	W		W		
1970-71	C		C	C	La Niña
1971-72	C		C-	C-	Débil La Niña
1972-73	W+	W	W+	W	Fuerte El Niño
1973-74	C+	C	C+	C+	Fuerte La Niña
1974-75	C		C-	C-	Débil La Niña
1975-76	C+	C	C+	C	Fuerte La Niña
1976-77	W		W-		
1977-78	W+		W-	W-	El Niño
1978-79					
1979-80			W-	W-	
1980-81					
1981-82					
1982-83	W+	W	W+	W+	Fuerte El Niño
1983-84			C-		
1984-85			C-	C-	
1985-86					
1986-87			W	W	
1987-88	W+	W-	W	W-	El Niño
1988-89	C+	C-	C+	C	Fuerte La Niña
1989-90					
1990-91			W+		
1991-92	W	W	W+	W+	Fuerte El Niño
1992-93	W		W+	W-	El Niño
1993-94	W+		W		
1994-95	W+		W	W-	El Niño
1995-96			C-	C-	
1996-97					
1997-98	W+	W	W+	W+	Fuerte El Niño
1998-99	C+		C	C-	La Niña
1999-00			C	C	
2000-01	C	C	C-	C-	La Niña
2001-02					
2002-03	W	W	W	W	El Niño
2003-04					

Enlaces:
http://www.wrcc.dri.edu/enso/ensodef.html
http://www.cdc.noaa.gov/people/cathy.smith/best/
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.html
http://www.cdc.noaa.gov/ENSO/enso.mei_index.html

Para la cuantificación de la superficie del espejo de agua se utilizaron las siguientes imágenes satelitales Landsat TM y MSS correspondientes al mes de septiembre de cada año. Se eligió esta época, por ser el límite entre la estación seca y el comienzo temprano de las lluvias (Buitrago, 2000).

Tabla 2. Lista de imágenes satelitales utilizadas en este trabajo.

POZUELOS		GUAYATAYOC	
SENSOR	FECHA	SENSOR	FECHA
Landsat 3 MSS	4-Ago-1978	Landsat 3 MSS	9-Sep-1978
Landsat 5 TM	10-Sep-1989	Landsat 5 TM	3-Sep-1989
Landsat 5 TM	19-Sep-1998	Landsat 5 TM	12-Sep-1998
Landsat 5 TM	21-Ago-1999	Landsat 5 TM	21-Ago-1999
Landsat 5 TM	21-Sep-2001	Landsat 7 ETM +	19-Sep-2001
Landsat 5 TM	17-Sep-2003	Landsat 5 TM	12-Oct-2003

Las precipitaciones correspondientes a los años estudiados fueron obtenidas de los registros de la estación meteorológica del INTA Abra pampa. La misma se ubica a 22º 48' 10.29"de latitud sur y 65º 49' 27.74" de longitud oeste a 3454 msnm. Esta estación se encuentra en forma equidistante y entre ambas lagunas, 44 km al norte de Guayatayoc y 47 km al sudeste de Pozuelos. Los valores de precipitación se incrementan hacia el norte y el este, es decir en dirección a la Laguna de Pozuelos y decrecen en dirección sur y oeste en dirección a la laguna de Guayatayoc. Se obtuvieron y ordenaron las precipitaciones considerando la estación monzónica. Se reprocesaron para representar la estación lluviosa del año, de modo que los valores acumulados para el año 2000 corresponden a los meses de julio–diciembre del 1999 mas los valores registrados en el 2000 de enero a Junio. De este modo los valores se observan el la tabla 3 y figura 2.

Tabla 3. Precipitaciones anuales totales por ciclo monzónico de julio a junio, de la estación meteorológica INTA Abra Pampa.

Año	mm	Año	mm
1971-72	474	1988-89	398
1972-73	332	1989-90	327
1973-74	444	1990-91	426
1974-75	269	1991-92	220
1975-76	309	1992-93	284
1976-77	292	1993-94	313
1977-78	378	1994-95	330
1978-79	395	1995-96	319
1979-80	238	1996-97	471
1980-81	259	1997-98	120
1981-82	322	1998-99	356
1982-83	128	1999-00	271
1983-84	659	2000-01	359
1984-85	322	2001-02	321
1985-86	529	2002-03	295
1986-87	450	2003-04	342
1987-88	396		

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores obtenidos en la medición de superficie del espejo de agua en la porción Norte de la laguna de Guayatayoc, oscilan entre el máximo 5484 ha registrado en 2001 y el mínimo 86.8 ha registrado en el año 1998.

El gráfico 4 muestra la relación entre los valores acumulados de precipitaciones entre el 16 de septiembre del año anterior y el 15 de septiembre del año de la medición, reflejando los mm acumulados durante la estación lluviosa del año.

El promedio de precipitaciones para el período estudiado fue de 334.4 mm y el desvío estándar de 108.8 mm.

En la tabla 4 se observan las estadísticas de las precipitaciones de los períodos Niño y Niña y su relación con la superficie de las lagunas analizadas para los eventos donde hay imágenes disponibles.

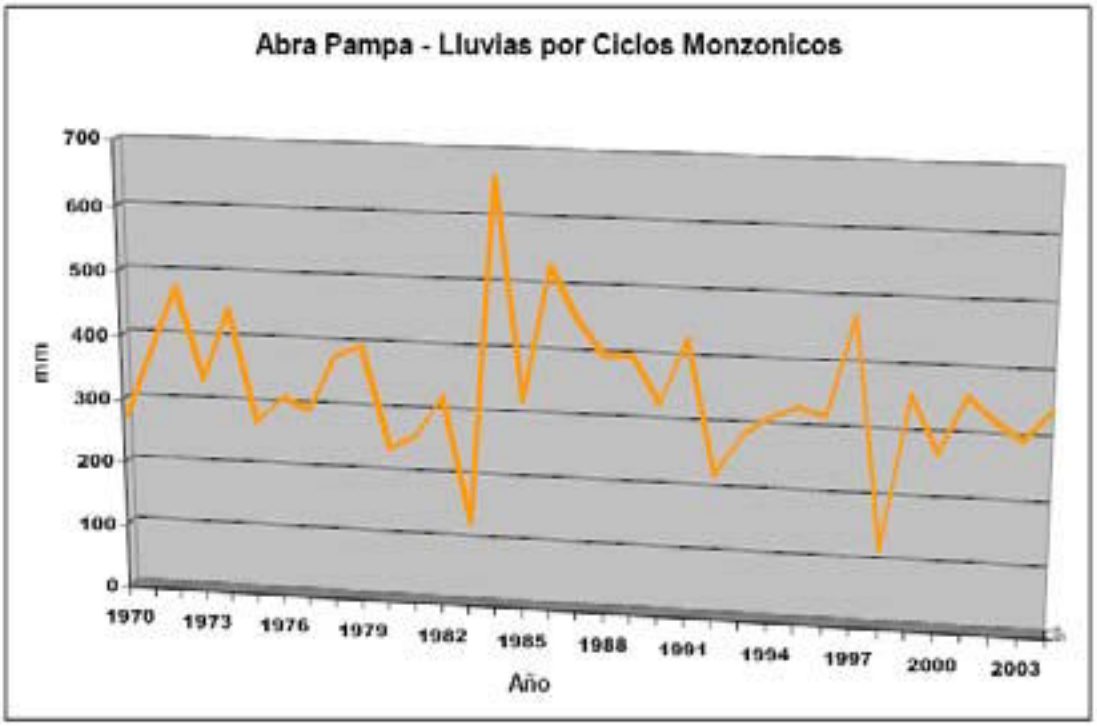


Figura 2. Para evaluar el efecto de las precipitaciones sobre las variaciones de superficie de la laguna, se uso como variable predictiva las lluvias totales acumuladas, siendo la acumulación de agua pluvial de todo el ciclo húmedo del monzón, más allá su distribución. Tabla3 y Figura 2.

Tabla 4. Niños 1978,1998 y 2003 Niñas 1989,1999 y 2001.

	Pp NIÑO (mm)	Pp NIÑA (mm)	POZUELOS		GUAYATAYOC	
			NIÑO (has.)	NIÑA (has.)	NIÑO (has.)	NIÑA (has.)
X	264,67	371,17	502,08	9538,00	599,6	4070,33
SD	131,49	23,27	671,69	1484,90	698,38	1314,09
CV	49,68	6,27	133,78	15,57	116,48	32,28

Como se desprende de la tabla 4, se observa que los años El Niño los desvíos Standard superan a la media lo que marca la gran variabilidad de los datos en los años de sequía. Los años La Niña muestran una menor variabilidad de los datos tanto en las precipitaciones como en la superficie ocupada por las lagunas. La superficie de la Laguna de Pozuelos medido en los eventos La Niña, mostró el menor coeficiente de variación.

Este comportamiento de la laguna aparentemente reflejaría la menor dispersión de los datos debido a la menor variabilidad entre las precipitaciones registradas durante la fase de oscilación correspondiente al período húmedo.

En la tabla 2 y las figuras 4 y 5 se observa que en general para los eventos donde existe coincidencia (WRCC, CDC, CPC Y MEI) se observa una diferencia 100 veces mayor de la superficie ocupada por la laguna de Pozuelos durante los eventos La Niña. A pesar de las diferencias en las escalas temporales, estos resultados registrados a partir de imágenes satelitales, coincidirían con los obtenidos en trabajos de paleontología de las lagunas en la puna observándose variaciones de las mismas debido a las oscilaciones climáticas del pasado. (Valero Garces, 2003).

Cuando se observa la tabla 1 del consenso de todos los métodos de calificación del fenómeno ENSO desarrollada por los distintos organismos internacionales y donde además su intensidad se considera fuerte, las lagunas reflejan la oscilación climática modificando su superficie. Figuras 4 y 5 En los años que se lo califica como fuerte La Niña, se observan coincidencias en el comportamiento de ambas lagunas analizadas. En el ciclo monzónico 1988/89 se registraron valores muy elevados, en Pozuelos más de 10000has y en Guayatayoc superior a las 2500has. Por otra parte para el ciclo 1997/1998 calificado como fuerte El Niño las superficies cubiertas fueron menos de 100 has en ambas lagunas Figuras 3, 4 y 5.

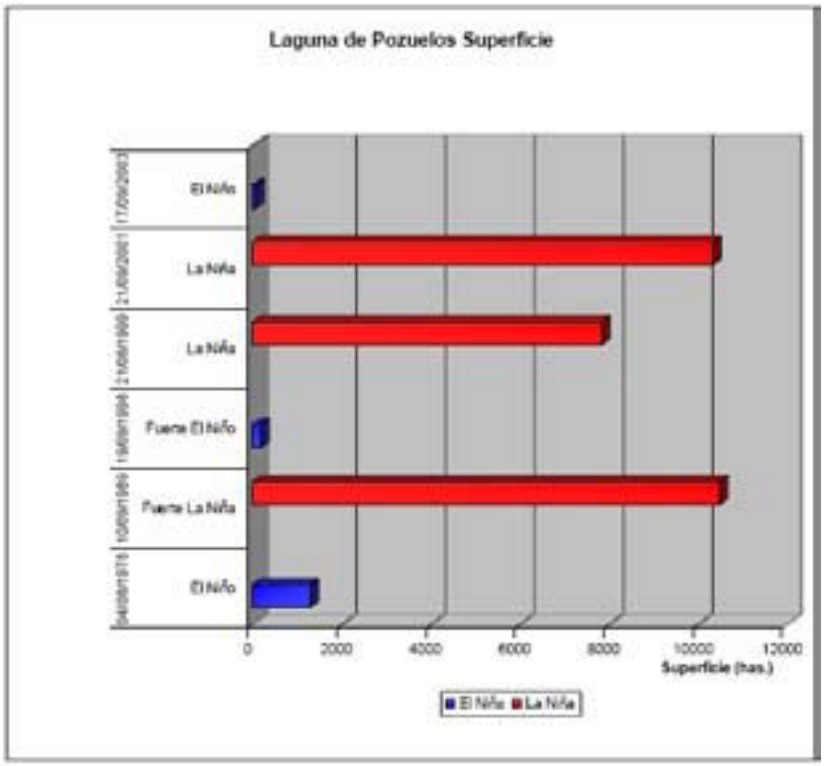


Figura 3. Superficie de La laguna de Pozuelos.

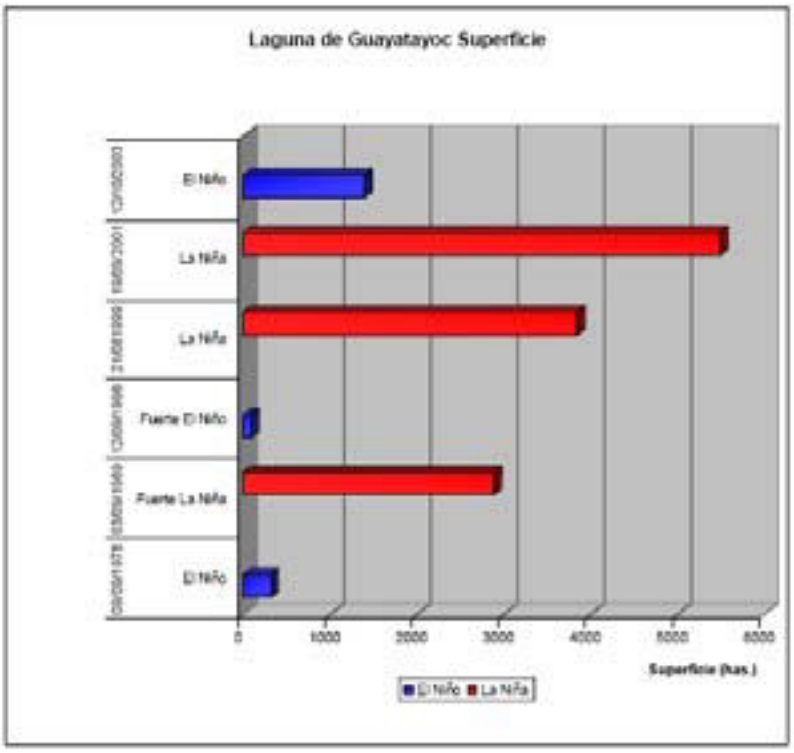


Figura 4. Superficie de La laguna de Guayatayoc.

Al analizar los valores de precipitación vemos que los valores extremos coinciden con fuertes manifes taciones del fenómeno ENSO, Fuerte El Niño 120 mm y Fuerte La Niña 398 mm, ello sugeriría que estos eventos de mayor magnitud se comportarían de forma similar y con una oscilación menor que las estudiadas en el paleoclima cuya escala temporal es más amplia. Tabla 5 y Figura 5. Sin embargo no existe una relación directa entre la longitud de la fase El Niño y la disminución en la cantidad de lluvia tal como fue observado por (Valero Garcés et al, 2003). Este comportamiento también se observa en el caso del año 1989, Fuerte La Niña, que para la Laguna de Guayatoc se observo un menor crecimiento de la laguna respecto de los otros años con evento La Niña mientras que en la Laguna de Pozuelos, cuando se compara los eventos la Niña, la mayor superficie coincide con el año 1989. Estos resultados muestran una vez más la gran variabilidad espacial de las precipitaciones. Figura 6.

Tabla 5. Fuertes eventos de El Niño y La Niña

Fuerte El Niño	Fuerte La Niña
1972/73	1955/56
1982/83	1973/74
1991/92	1975/76
1997/98	1988/89

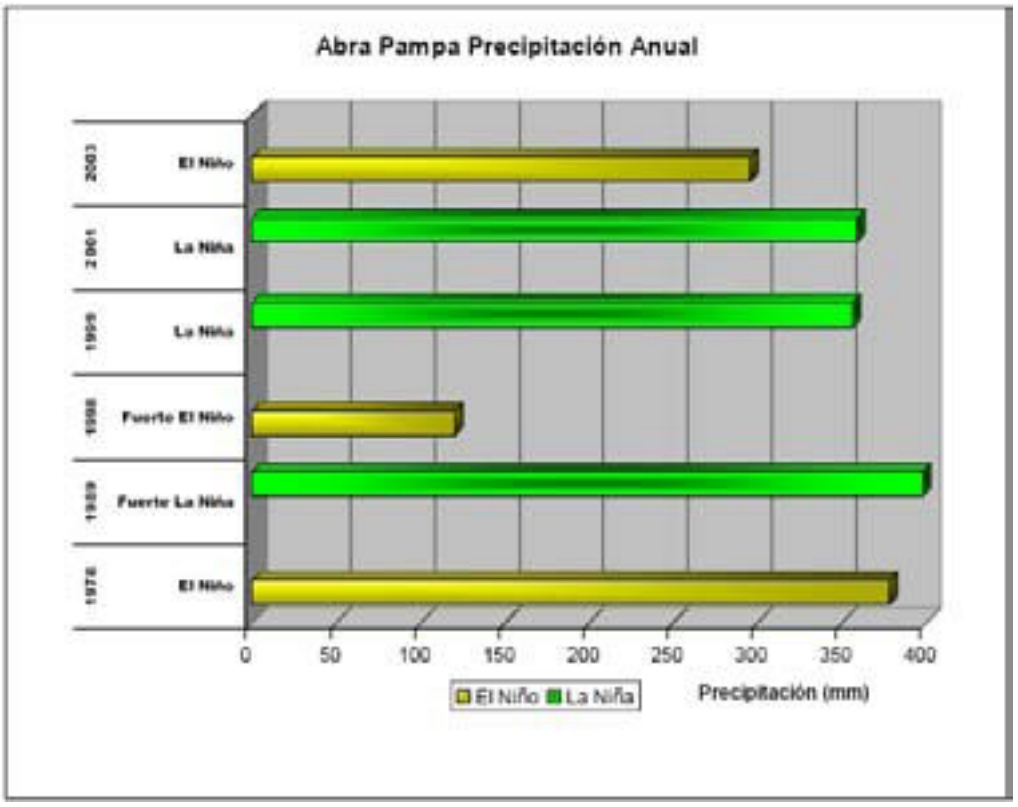


Figura 5. Precipitación acumulada en el ciclo monzónico años Niño y Niña.

Si bien se observan mayores precipitaciones para el ciclo monzónico de Julio a Junio durante los eventos La Niña existen algunos casos en los que tanto los años neutros, como eventos El Niño (año 1978) presentan las mayores precipitaciones acumuladas con respecto a los Niños 1998 y 2003. Considerando que El Niño tiende a asociarse con bajas evaporaciones, (Houston, 2005) quien demostró una débil asociación entre la evaporación media anual y el fenómeno ENSO en el desierto de Atacama, se esperaría el crecimiento de las superficies de las lagunas. Esto se observa en el caso de Pozuelos que en el año 1978 mostró un espejo de agua, probablemente como consecuencia de una menor evaporación asociada a una mayor precipitación del ciclo monzónico. Figuras 3, 4 y 5. Una de las particularidades del fenómeno es que cada evento es único, en la forma en que se desarrolla, en su duración y en la distribución temporal y espacial, especialmente, a escala local de sus impactos. Resultados similares encontraron en el informe nacional al comparar los valores de precipitación registrados en la región del NOA y el fenómeno ENSO no siempre se registran los mayores valores únicamente durante los años niña. Por ejemplo en los años 1984 y 1986 se pueden considerar neutro o débil niña, y débil niño respectivamente se observa un inusual crecimiento de la laguna de Pozuelos alcanzando un pico máximo de 15383 has. en Junio de 1984 valores comparables con el evento fuerte de La Niña en medido en junio de 1975. Figura 7. Observaciones similares fueron registradas por (Aceituno y Garreaud, 1995; Vuille, 1999) en la Cordillera de los Andes y el altiplano Boliviano. Garreaud y Aceituno, 2001 quienes demuestran que la cantidad y el signo de las anomalías de las lluvias en el Altiplano es altamente dependiente de la localización de la zona de anomalía de los vientos y por lo tanto requiere estudios de las anomalías de las temperaturas en la troposfera.

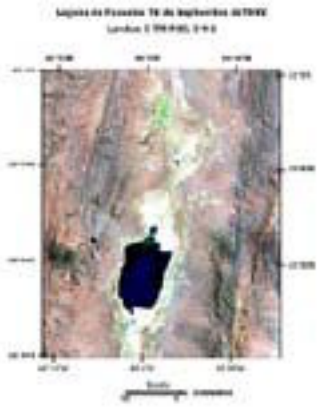


Figura 6 a

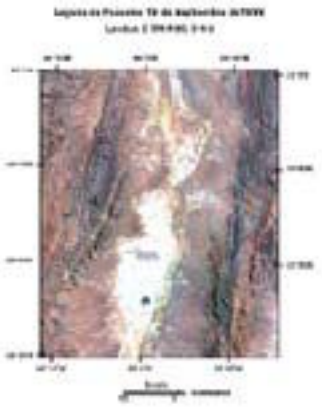


Figura 6 b

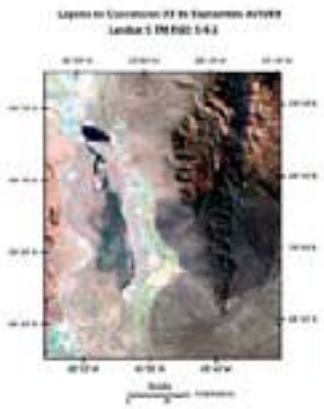


Figura 6 c

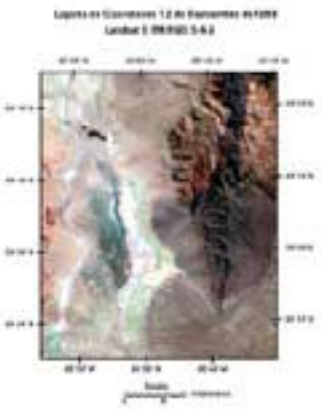


Figura 6 d

Figura 6 abcd. Imágenes Landsat para de las superficies Pozuelos y Guayatayoc durante eventos extremos.

Los factores que mantiene la variabilidad de la repuesta son similares a los que interactúan con el cuerpo lacustre total. Cuando se disponga de datos de la distribución espacial de los datos de precipitaciones, las temperaturas registradas durante la estación y la dinámica de los vientos se podrán mejorar las interpretaciones de los resultados. Del análisis comparado entre los índices utilizados en la tabla del consenso y los promedios de precipitaciones se pueden extraer algunas tendencias que deberían ser verificadas con más cantidad de eventos. Para la Laguna de Guayatayoc no se observa una marcada diferencia entre lo sucedido durante los casos extremos del fenómeno niño/niña y/ó de mayor magnitud respecto de otros años niño/niña, por el contrario en la Laguna de Pozuelos se observan diferencias de comportamiento de la superficie ocupada, cuando se compara entre las fases fuetes y débiles (Figuras 3,4 y 6).

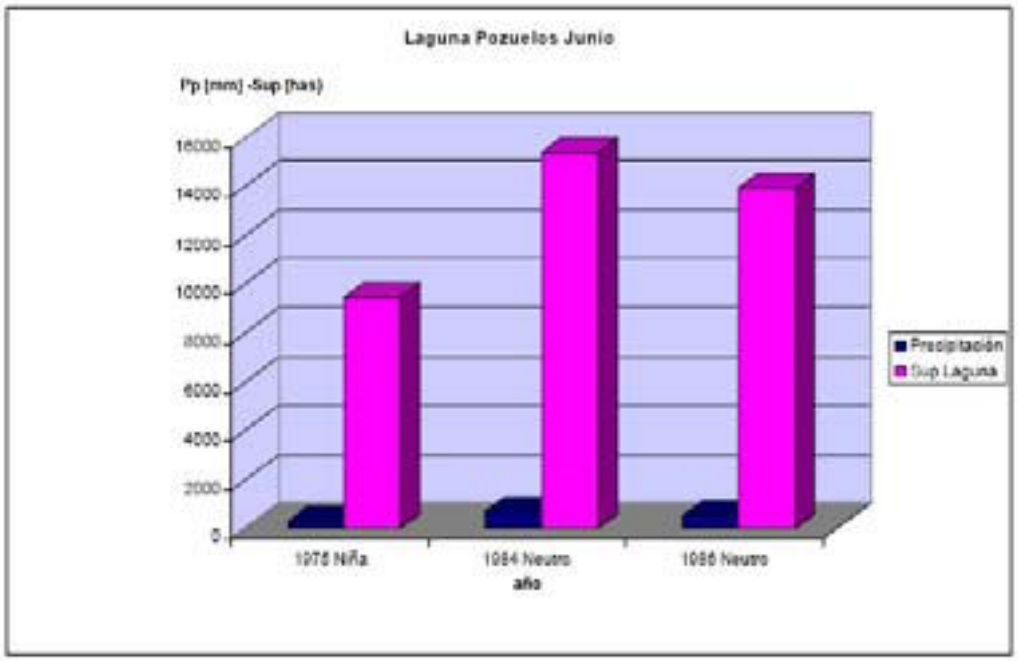


Figura 7. Similares crecimiento de la superficie con agua de la Laguna de Pozuelos en diferentes fases del fenómeno ENSO.

CONCLUSIONES

En consecuencia solamente para la Laguna de Pozuelos y durante los eventos considerados fuertes o de elevada magnitud, donde existe coincidencia entre las distintas metodologías para la determinación de un evento Niño o Niña (WRCC, CDC, CPC y MEI), se observa una relación directa entre las precipitaciones y el crecimiento o disminución las superficies de la Laguna. 1989 Fuerte Niña y 1998 Fuerte Niño respectivamente.

La validación del modelo de cuantificación de la superficies de las lagunas a partir de imágenes satelitales como un indicador fiable de las oscilaciones de las precipitaciones de la estación lluviosa anterior, aún no es los suficientemente sólido y requerirá una serie de imágenes mayor coincidente con las fases Niño/Niña surgidos del consenso entre los distintos métodos (WRCC, CDC, CPC y MEI).

La laguna de Pozuelos fue más sensible respecto de la laguna de Guayatayoc, como indicadora de los cambios en la superficie cubierta por agua debido a las sequías y precipitaciones extremas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la UBA con fondos del UBACyT G423. Para la adquisición de imágenes se contó con la cooperación de CONAE, INPE, USGS y GLCF.

BIBLIOGRAFÍA

Aceituno, P (1988). On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: Surface Climate. Monthly Weather Review, 116, p. 505−524. Part II Upper air Circulation. Journal of Climate, 2, 341−355.

Aceituno, P. and Garreaud, R. D. (1995). The impact of the ENSO phenomenon in the rainfall regime along the Andes cordillera (in Spanish). Rev. Chilena Ing. Hidraulica, 2, 33–43.

Bianchi, A.R., Yanez C.E. y Acuna L.R. (2005). Base De datos mensual de precipitaciones del noroeste argentino. Sagpya 2005.

Buitrago L. G. (2000). El clima de la provincia de Jujuy. UNJU. San Salvador de Jujuy Carpio M.L. (1999).Consideraciones sobre los endorreísmos de la costa norte de Perú en su relación con eventos de el niño. Papeles de geografía, nº 30, 87−102.

Centro de Estudios Sociales y Ambientales / Informe Final IAI 2004 ENSO−Argentina II−10.

Ezcurra E. (2006). Geo Desert. Chapter 1. Naciones Unidas.

Frazier P. S. and Page Kenneth J. (2000). Water body detection and delineation with Landsat TM data. Photogrammetric engineering and remote sensing 2000, vol. 66, n 12, 1461−1467.

Garreaud Rene´ D. and Aceituno P. (2001). Interannual Rainfall Variability over the South American Altiplano.Journal of Climate Vol 14:2779−2789.

Glantz, M.H. (1984). Floods, Fires and Famine: is El Niño to blame? Oceanus, 27(2) 14−19.

Houston J. (2006).Evaporation in the Atacama Desert: An empirical study of spatio−temporal variations and their causes Journal of Hydrology 330, 402– 412.

Kindgard, F. A., Navone, S. M., Maggi, A. (2008). Determinación de los efectos del fenómeno ENSO y las variaciones de precipitaciones a través de sensores remotos en una cuenca endorreica de la puna semi árida. XIII Simposio Internacional de la Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, La Habana Cuba. Recursos Naturales y Medio Ambiente. ISBN 978−959−247−063−7 Editorial Obras UNAICC.

Maggi, A., Navone S., Bargiela, M. e Introcaso, R. (2005). Monitoring the global change detection using landforms and Landsat 5 TM. International Geographical Union. Proceedings of Environmental Change and Rational Water Use. Orientación Grafica Editora− 1ª ed− Buenos Aires. Argentina. 160 P. :76. ISBN 987−9260−37−6.

Null, Jan. (2007). El Niño & La Niña Years: A Consensus List http://ggweather.com/enso/years.htm.

Prieto, M. del Rosario y García Herrera, R. (2008). Documentary sources from South America: Potential for climate reconstruction. PALAEO−04827 Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology en prensa Quinn, W.H. and Neal, V.T. (1983) El Niño occurrences over the past four and a half centuries. Journal of Geophysical research, Vol. 92, No. C13.14,449−14,461

Report on The IAI Workshop on ENSO and Interannual Climate Variability, July 12−15, 1994. Lima, Peru.

Ropelewski, C.F., Halpert, M.S. (1987). Global and regional scale precipitation patterns associated with the El NiñobSouthern Oscillation. Monthly Weather Rev. 115 (8), 1606–1626.

Valero−Garces B.L., Delgado−Huertas A., Navas A., Edwards L., Schwalb A., an dRatto N. (2003). Patterns of regional hydrological variability in centralsouthern Altiplano (18º & 26ºS) lakes during the last 500 years. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 194:319−338.

Vorano, A. y Vargas Gil, J.R. (2002). Evaluación de la situación actual de los procesos de Desertificación de la Puna salto−jujueña. Soluciones Alternativas. INTA. Salta.

Vuille, M., (1999). Atmospheric circulation over the Bolivian Altiplano during dry and wet periods and extreme phases of the Southern Oscillation. Int. J. Climatol., 19, 1579–1600.

Metodología GIS de identificación de campos con quema ilegal de caña en la provincia de Tucumán

Avila, Beatríz [a], Báscolo, Alejandro [a] y Dorna, Diego [a]

[a]**Área de Sistemas – Dirección General de Catastro – Poder Ejecutivo de Tucumán**

RESUMEN

En la provincia de Tucumán la quema ilegal de caña ocasiona serios trastornos ambientales a los grandes conglomerados urbanos y sus habitantes, así también como al suministro de las líneas de alta tensión que cruzan los campos incendiados. La identificación por parte del Gobierno de los responsables como los dueños de los campos afectados es dificultosa por diversos motivos, entre ellos por la gran cantidad de parcelas rurales involucradas y la imposibilidad física de determinar cuáles son efectivamente los campos en infracción por su difícil accesibilidad y desconocimiento de su extensión dentro de la llanura tucumana.
Se presenta una propuesta de metodología basada en la utilización de las herramientas GIS de la Dirección General de Catastro de la Provincia para identificar a los titulares de las parcelas en infracción. La misma consiste en la adquisición de las coordenadas geográficas desde el sitio del siniestro vía aérea o terrestre para su posterior remisión a través de telefonía celular en tiempo real o en forma diferida a partir de un relevamiento de múltiples zonas. La identificación se efectúa aplicando un algoritmo de intersección espacial en la base de datos de los puntos remitidos con las ortofotos digitales, las imágenes Ikonos y el sistema parcelario digitalizado georreferenciado. De esta manera se proporciona la información recabada a la Secretaría de Medio Ambiente para la aplicación de las sanciones vigentes.

Palabras clave: Medio Ambiente – GIS – Incendios – Detección

ABSTRACT

Ilegal sugar cane farm field fires are causing several environmental problems to urban centers at Tucumán province, affecting also the electrical pipelines that cross the fields under fire.
Trying to id the people behind this is becomes a challenging task to the government since it is quite difficult to properly identify the parcels involved and sometimes because on the first hand it is hard to get into those fields due to the lack of maintenance of rural roads and secondly the real extension of the area under fire is unknown.
This paper addresses a methodology by using GIS Tools to properly identify the people that own the parcels under infraction by using the Dirección General de Catastro web services.
It consists of the acquisition of GPS coordinates from the burning field by flying over or directly from taking a measure from the field to later relay the info using the cellular grid in realtime or simply in offline mode for a later processing. The identification process is done by applying GIS spatial algorithms based on the surveyed points, using the aid of Ikonos images and the georreferenced parcel system. In this way information related to the parcel such as owner name and address is provided to the Environmental Agency to apply the fine based on current legislation.

Keywords: Environment – GIS – Fires – Detection

INTRODUCCIÓN

El tradicional inicio de la temporada de zafra en la provincia de Tucumán tiene asociado un impacto ambiental severo en grandes centros urbanos con repercusión incluso en el suministro eléctrico para toda la región del NOA e incluso el sistema interconectado nacional. Debido a la quema ilegal de grandes extensiones de caña de azúcar en las instancias previas a su cultivo enormes columnas de humo provocan la masiva precipitación de carbonilla en casas y calles de las ciudades ocasionando incluso problemas respiratorios a los habitantes.[1][2] Paralelamente, la quema debajo de las líneas de alta tensión causa el corte abrupto de energía eléctrica no sólo a nivel citadino sino a otras provincias del resto del país.

Figura 1.1. Imágenes de incendios de campos de caña [1][2]

Pese a ser una actividad penada por la ley, la baja incidencia de las multas sumada a la difícil identificación de los dueños de los campos donde ocurren los siniestros hacen que esta cultura de varias décadas no disminuya en la medida que el Gobierno pretende.
Utilizando tecnologías de sensoramiento remoto en combinación con un sistema de información geográfica se presenta en este paper una metodología de identificación eventual de los dueños de los campos basada en la detección del lugar con coordenadas GPS para su posterior compulsa con la base de datos de la Dirección General de Catastro a fin de proporcionar toda la información requerida por la Dirección de Medio Ambiente de la Provincia.
Las funciones principales de la DGC que determinan qué datos almacenar y mantener se encuentran delineadas por la Ley nº 3.907, que la faculta para poder realizar, controlar y mantener actualizado el catastro territorial ejerciendo el cumplimiento de las acciones y tareas de registro y actualización de los inmuebles del territorio provincial.
Además, el artículo 186 del Código Penal establece penas que van de de tres a diez años de prisión a quien cause incendios intencionales. Dos años atrás se modificaron incluso las leyes vinculadas a la quema de caña para reducir de veinte a cinco años el plan de erradicación gradual para eliminar definitivamente la quema de cañaverales en todo el ámbito de la Provincia de Tucumán.
No obstante toda la legislación vigente, las campañas y los controles contra la quema de los cañaverales no han sido efectivas en los últimos años ya que sólo en 2008 se produjeron alrededor de tres incendios por día durante mayo y octubre, el período que comprende la zafra azucarera, totalizando más de 800 en ese mismo año, contra los 300 focos registrados durante 2005.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La Dirección General de Catastro (DGC) de la Provincia de Tucumán cuenta con un Sistema de Información Geográfica territorial georreferenciado que abarca la totalidad del territorio provincial.
Un sistema de información geográfica contiene metadatos referenciados geográficamente acerca de geografía, bienes y medioambiente. [3]
El sistema posee una arquitectura basada en tecnología de capas o “layers” que contiene información alfanumérica asociada a los polígonos de parcelas que representan la unidad catastral de identificación a través del número de padrón.
El circuito de alimentación de información se encuentra conformado por un motor Oracle 10g Spatial Plus, que almacena tanto la información alfanumérica como gráfica. La información alfanumérica comprende datos de domicilio de parcela, nomenclatura catastral, información de planos, antecedentes de dominio y valuación fiscal, la cual es mantenida a través de un aplicativo con tecnología cliente – servidor desarrollado en Visual Basic 6.

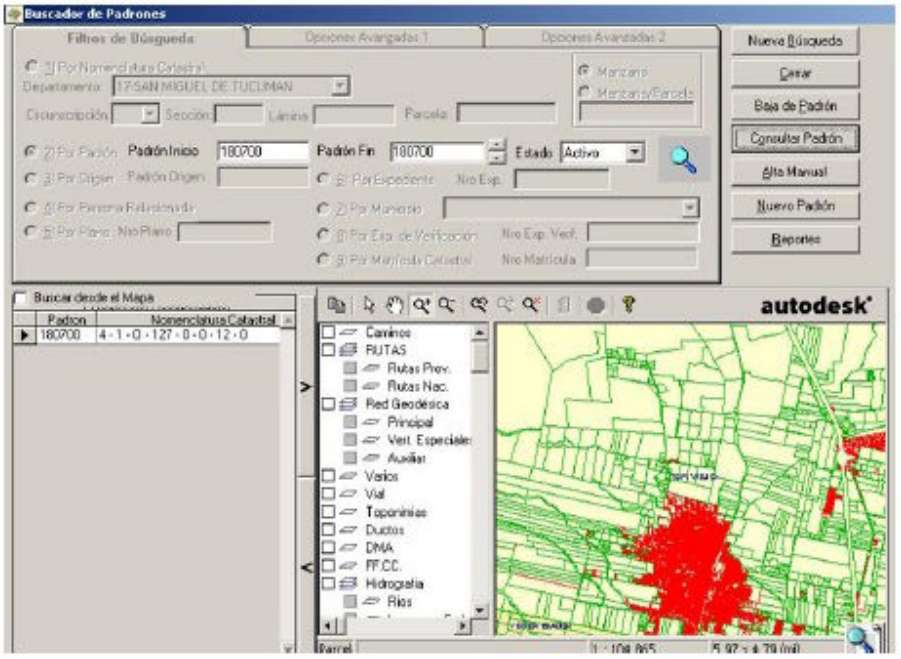


Figura 2.1. Interfase del sistema informático territorial (SIT) [3]

La información gráfica es mantenida a través de un sistema de presentación de datos de digitales por parte de los profesionales en formato de Autocad (.dwg), los cuales son procesados y administrados con Autocad Map para acceder a la instancia gráfica del Oracle a través de la vectorización de sus archivos.

Para publicación de datos se utilizan tres arquitecturas:

2.1. Servidor espacial (Mapguide Server) [4]: se encarga de distribuir datos espaciales y alfanuméricos a través de un servicio basado en la web. Es capaz de enviar y recibir peticiones de diferentes tipos de datos.

2.2. Un formato de archivo de mapeo que puede ser embebido en la página web (archivo mwf): contiene la descripción de las capas de datos a visualizar con su correspondiente configuración.

2.3. Una aplicación basada en la web en la que los mapas pueden ser visualizados por un usuario final a través de un navegador de Internet.

La información geográfica se encuentra georre-referenciada utilizando el método Gauss Krüger – Posgar 98 – Faja 3. Con esta referencia todos los puntos que son relevados son geográficamente referenciados en el mapa.

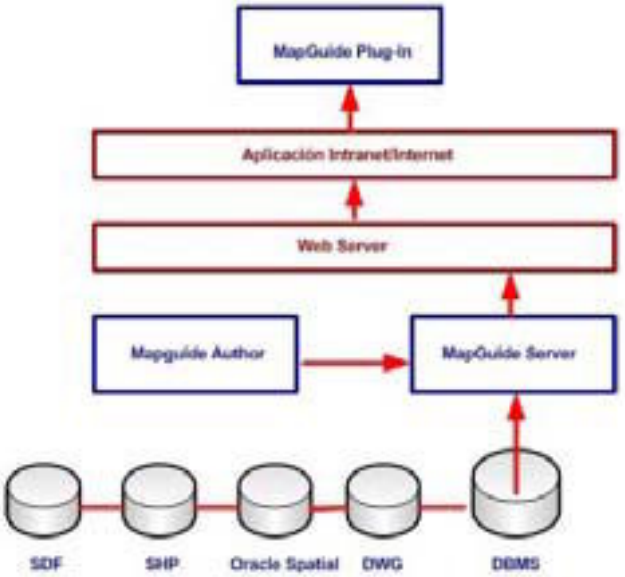


Figura 2.2. Arquitectura del sistema Mapguide Server [4]

METODOLOGÍA

La estrategia adoptada por la DGC a efectos de contribuir con la problemática ambiental de la quema de cañas es la identificación de las parcelas catastrales sobre los cuales han sido detectados focos de incendio intencional.
Debido a la naturaleza del diseño de la base de datos GIS de la DGC, es posible asociar gráficamente un polígono o parcela catastral con su correspondiente número de padrón, que es un número de cuenta llamado también número de partida en otras provincias, y de allí obtener toda la información alfanumérica que sea relevante a los fines de la detección. Dentro de dicho árbol de información, la información del responsable fiscal y titulares de dominio son los que fueron seleccionados como producto final de la detección.
A efectos de poder materializar dicha metodología, el sistema de información geográfica de la DGC posee digitalizadas un total de 340.000 parcelas abarcando toda la superficie de la provincia. Las mismas fueron producto de una restitución urbana y ortofoto digital rural que consistió en la creación de un polígono por cada parcela catastral relevada, que posee su correspondiente identificación de nomenclatura, valuación fiscal, antecedentes de dominio y domicilio de parcela.
Esta restitución se constituyó en una gran ventaja para la implementación de la metodología propuesta.
Dos tipos de detección han sido abordados, dependiendo si éstos son en tiempo real (online) o diferido (offline) **[5]**. Ambos poseen dependencias tecnológicas cuya resolución inicial permite el abordaje de una metodología innovadora y perfectible.

DETECCIÓN OFFLINE

El método está dimensionado para ser utilizado por la policía ambiental u organismo de control del Medio Ambiente en la que se puede relevar por oficio, ya sea en forma aérea con un helicóptero o terrestre a través de camionetas.
Esta última opción puede tener limitaciones según dónde se ubiquen los campos y dependiendo del grado de accesibilidad de los mismos. Un gran desafío lo constituye en la Provincia el estado de la red caminera secundaria y sobre todo la terciaria en lo referente al mantenimiento de las mismas.
Últimamente la detección por denuncia telefónica se incrementó notablemente al verse afectadas poblaciones que han sufrido la quema intensa de cañaverales a metros de barrios, generalmente del Instituto de la Vivienda, que se encuentran próximos a extensos campos de caña de azúcar.

Figura 3.1. Diagrama de detección offline [5]

Dentro del plan de detección bosquejado se efectuó una prueba piloto volando en el helicóptero de la gobernación con un receptor Trimble Geoexplorer a fin de tomar puntos GPS de los campos que se encontraban bajo incendio o con surcos que evidencien una quema masiva.[6][7]

Figura 3.2. Campo con cañaveral en progreso de inicio de incendio visto desde helicóptero [6] y desde un avión a un minuto de haber despegado desde Tucumán [7]

DETECCIÓN ONLINE

La necesidad de obtención de datos en un tiempo reducido, para la identificación parcelaria y sus propiedades (como por ejemplo superficie, titulares de dominio y los datos de su ubicación, etc.), es uno de los factores principales en el desarrollo de esta metodología.

Si bien es cierto que la tecnología avanza cada día más, y momento a momento salen al mercado nuevas herramientas, también es acertado afirmar que esa tecnología que necesitamos, a veces resulta inalcanzable económicamente. Es por ello que la solución planteada parte de la premisa de no intentar alcanzar a la tecnología en su vertiginoso avance, sino utilizar la que tenemos disponible al momento y ponerla a trabajar para nosotros.

Consecuentemente, el medio de comunicación elegido para la transmisión de la información requerida, fue la telefonía celular, de modo tal, que la respuesta a los requerimientos fuera casi en tiempo real y por sobre todas las cosas, accesible económicamente.

De esta manera, los agentes intervinientes en algún siniestro, como lo es la quema indiscriminada de caña de azúcar, puede tener los datos del que será el responsable de los hechos, en este caso el titular del campo, como así también la superficie del mismo y su cercanía con líneas de alta tensión o centros urbanos en potencial peligro.

Originalmente, se pensó en el envío de una palabra clave que haga referencia a una acción en los servidores de catastro, a un número corto (ej. CLAVE al 2020); pero para contratar este servicio, se debían pautar un mínimo de consumo y a su vez un costo agregado a cada mensaje. Este sistema de numeración es fácil y práctico para brindar el servicio que ofrecemos desde la Repartición, pero encuadra dentro de un perfil comercial al cual no quisimos acercarnos, y nuevamente, nos aferramos a la idea de utilizar solo lo que teníamos en las manos en ese momento.

Cada compañía celular, hasta hace uno o dos años atrás, asociaba el número de un teléfono a una casilla de correo, por ejemplo, si un número de móvil era el 154014256, el servicio de telefonía le asociaba la casilla de correo 543814014256@EMPRESA-PRESTADORA.com.ar, por lo cual se podía enviar y recibir correo electrónico a dicha casilla. Gracias a este servicio, el agente puede tomar las coordenadas de un determinado lugar, incluso con el GPS incorporado a algunos celulares, y luego enviarlos a la casilla de correo de la Dirección General de Catastro.

Luego de unos segundos, el servidor de Catastro le responde de igual manera al celular, con los datos requeridos. El sistema estuvo operativo hasta que una de las compañías telefónicas dejo de prestar este servicio, no así el resto de la competencia. Esto nos limitó en cuanto a que no todos tendrían el servicio a su disposición. Es por ello que como opción se desarrollo una pequeña interfase Web, a la cual se pueden conectar todos los celulares por medio de tecnología GPRS, para la obtención inmediata de datos.

El GPRS, General Packet Radio Service, es una extensión del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile Communications o GSM) para la transmisión de datos no conmutada (o por paquetes).

Existe un servicio similar para los teléfonos móviles que del sistema IS-136. Permite velocidades de transferencia de 56 a 114 kbps. GPRS se puede utilizar para servicios tales como Wireless Application Protocol (WAP) , servicio de mensajes cortos (SMS), servicio de mensajería multimedia (MMS), Internet y para los servicios de comunicación, como el correo electrónico y la World Wide Web (WWW). La

transferencia de datos de GPRS se cobra por volumen de información transmitida (en kilo o megabytes), mientras que la comunicación de datos a través de conmutación de circuitos tradicionales se factura por minuto de tiempo de conexión, independientemente de si el usuario utiliza toda la capacidad del canal o está en un estado de inactividad. GPRS da mejor rendimiento a la conmutación de paquetes de servicios, en contraposición a la conmutación de circuitos, donde una cierta calidad de servicio (QoS) está garantizada durante la conexión. Por este motivo, se considera más adecuada la conexión conmutada para servicios como la voz que requieren un ancho de banda constante durante la transmisión, mientras que los servicios de paquetes como GPRS se orientan al tráfico de datos. [8]

DETECCIÓN ONLINE A TRAVÉS DE SMS:

1. El agente captura las coordenadas planas con un dispositivo GPS.

2. Redacta un mensaje de texto en el que consignan la clave de operación (3 primeros dígitos) seguido de un espacio y luego la variable, que en este caso son las coordenadas planas XY Gauss Krüger Faja 3. De modo tal que el mensaje queda como sigue:

XYZ 3633146.71,7078462.67

3. Se envía el mensaje a la casilla de correo de catastro (sms@dgc–tuc.gov.ar)

4. En el servidor de catastro corre una rutina llamada SMSsit, cada 5 segundos, encargada de recibir el correo, identificar la palabra clave (en este caso XYZ) y enviar la petición al servidor.

5. El servidor corre un procedimiento en el que intervienen funciones espaciales, las que logran la superposición entre el punto recibido (XY) y la restitución parcelaria (base cartográfica). Una vez capturado el padrón (identificación de la parcela), el procedimiento consulta los datos propios de la parcela, entre los cuales se encuentra su superficie, como también el nombre y apellido del titular de la misma.

6. SMSsit recoge los resultados obtenidos por el servidor y los envía a la casilla de correo del celular. Todo ello en menos de 1 minuto y al costo de un simple mensaje de texto.

La opción SMS requirió el desarrollo de una rutina automática, que pudiera manipular el envió y recepción de correo electrónico, y a su vez la interpretación del cuerpo del mensaje de texto.

DETECCIÓN ONLINE GPRS:

1. El agente se conecta con su móvil vía GPRS (un tanto más caro que un simple mensaje de texto) a la URL http://200.45.224.98:84/.

2. Se presiona sobre la opción “Localizar”, y nos pide que ingresemos las coordenadas planas XY.

3. Al presionar el botón enviar, la pantalla siguiente contendrá la información requerida en la misma pantalla del celular.

Esta opción GPRS requirió el desarrollo de una pequeña pagina Web adaptada para ser visualizada y operada desde un teléfono celular.

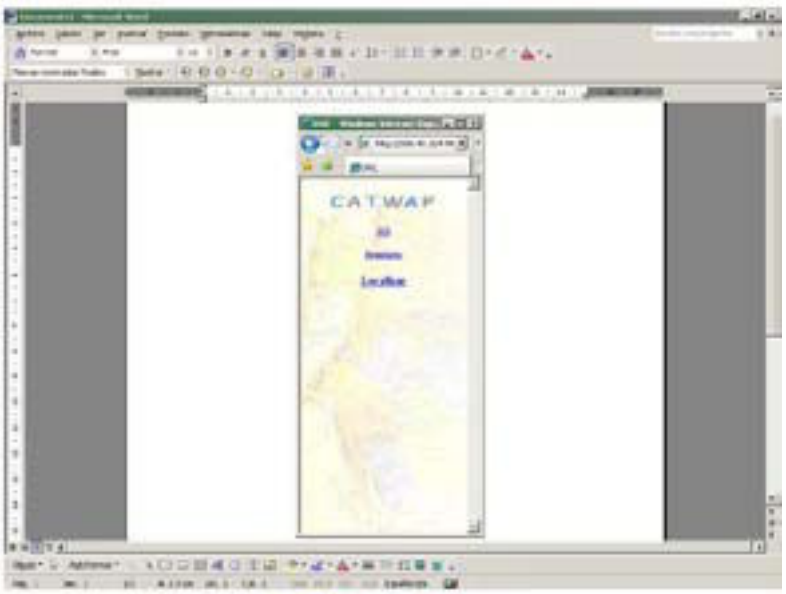


Figura. 3.3. Interfase CATWAP de acceso vía celular [8]

RESULTADOS

Durante el sobrevuelo con helicóptero por el sudeste de la Provincia se identificaron más de una docena de campos con incendio o rastros de incendios previos. Dichos puntos o waypoints fueron posteriormente convertidos en coordenadas planas x,y a fin de subirlos como capa adicional en el GIS de la DGC.
Una vez convertidos en formato shapefile, los puntos son compulsados con los polígonos de parcelas rurales utilizando una función del Arcgis 9.3 llamada Selección Por Ubicación. Esta función permite identificar elementos basados en su ubicación relativa a otros elementos. Este tipo de función es conocido como consulta espacial. [9]
El método de inclusión espacial empleado en este caso fue el de Completitud (Completely Contain), en la que la geometría de la capa de datos fuente debe estar contenida en la geometría de la capa destino incluyendo sus límites. La capa de puntos GPS relevados fueron intersectados espacialmente con la capa de parcelas rurales a efectos de determinar los polígonos de las parcelas resultantes.
En la modalidad online, a partir del SMS se procedió a ejecutar el envío del siguiente mensaje de texto:

XYZ 3582002.3066,7016178.4410

La repuesta obtenida del servidor de Catastro fue la siguiente:

Padrón: 73545
Sup: 191542 m2
Tit: SALOMON, FORTUNATO

Cabe destacar que la figura 3.5 muestra un campo de cañas incendiado donde puede advertirse el paso de un ducto de alta tensión sobre el mismo, con una alta probabilidad de interrupción del servicio eléctrico cuando las llamas se encuentran debajo de los cables.[10]

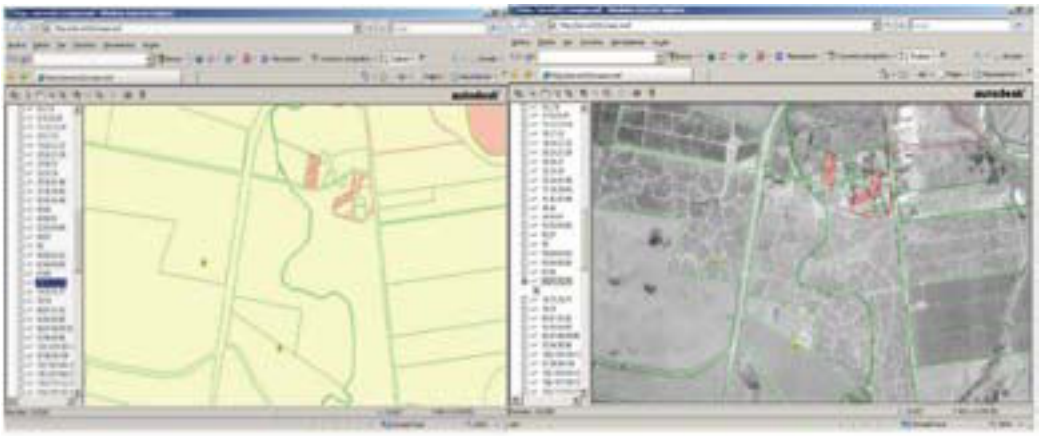


Figura 3.4. Intersección espacial de la base cartográfica (parcelas) con los puntos GPS relevados con y sin imagen superpuesta [9]

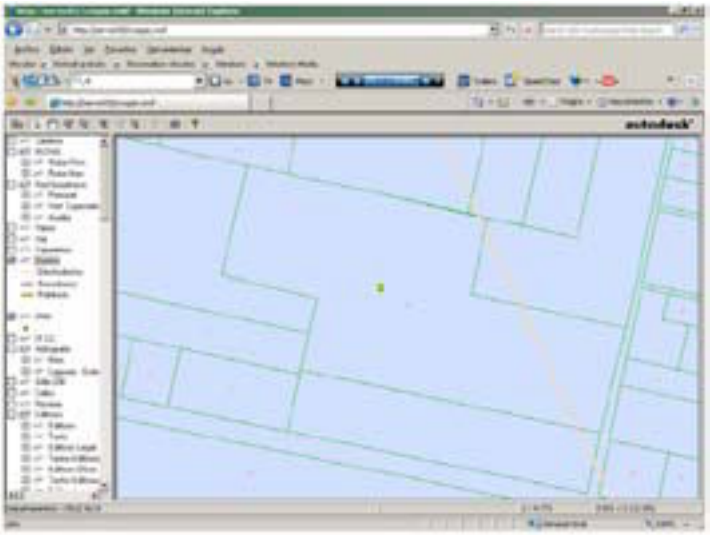


Figura 3.5. Posicionamiento del punto remitido vía celular en la base cartográfica[10]

CONCLUSIONES

El empleo de la tecnología de la red celular permite utilizar los servicios GIS de la Dirección General de Catastro para una detección inmediata o diferida de personas responsables de los campos con focos de incendio.
Por otro lado, la manipulación de puntos espaciales y su interrelación con el entorno digital nos permiten obtener datos de todo tipo, entre ellos:

- Distancia entre la zona afectada y una línea de alta tensión.

- Población cercana a la zona de riesgo

- Autoridades policiales y bomberos mas cercanas

- Historial. Reincidencia en la practica ilegal

- Identificación del domicilio del responsable

RECOMENDACIONES

Los servicios GIS podrían escalarse a medida de las necesidades por parte de los organismos de control tales como la Secretaría de Medio Ambiente en lo referente a la identificación no sólo del titular de la parcela en infracción sino también el responsable fiscal asociado a quien le llega la boleta del impuesto inmobiliario.
La posibilidad de ejecutar operaciones espaciales a partir de los puntos recibidos permitiría eventualmente generar alertas vía email u otro medio de comunicación a organismos tales como Defensa Civil, Bomberos o Policía en casos que los incendios tengan lugar en proximidad de líneas de alta tensión para alertar a las autoridades o incluso a la compañía de distribución de electricidad. O bien, alertar a comunidades de poblaciones cercanas.
La reciente adquisición de imágenes Ikonos por parte de la Dirección General de Catastro comprendió únicamente a los polígonos urbanos masivos de la Provincia, totalizando un área de 500 km2 de superficie. Dicha compra ha permitido actualizar la restitución urbana dentro de la campaña de detección de mejoras no declaradas por contribuyentes.
La calidad de los resultados obtenidos en dicha actualización permite proyectar la adquisición de polígonos de imaginería rurales que permitan clasificar de una mejor manera los campos rurales en lo referente a los diversos cultivos que son sembrados. De esta manera se haría hincapié en la caña de azúcar para poder confirmar los estados parcelarios a partir de la superposición de dichas imágenes con el sistema parcelario georreferenciado.
En la figura 6.1. se puede apreciar la proximidad de campos de cañas de azúcar con áreas urbanas que se verían perjudicadas ante un incendio como los que ocurren diariamente.**[11]**

Figura 6.1. Imagen Ikonos con restitución parcelaria donde se aprecian las zonas de costura urbanas y rurales.[11]

REFERENCIAS

Diario La Gaceta – Versión Electrónica – Foto tomada por Héctor Peralta – 2009

Diario La Gaceta – Versión Electrónica – Foto tomada por Daniel Gollan – 2009

Instituto de Ecología Regional (IER) – Facultad de Ciencias Naturales de la UNT – 2009

Bolstad, P., 2005, GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems, 2nd Edition, Eider Press, Minnesota.

Foto tomada por Alejandro Báscolo – Dirección General de Catastro – 2005

Diario La Gaceta – Versión Electrónica – Foto tomada por Carlos Garmendia – 2009

Autodesk Inc. – Technical Comparison: Autodesk Mapguide 6 and ESRI's ArcIMS 4 – Pg. 4 http://images.autodesk.com/adsk/files/3429771_Autodesk_Mapguide6_and_ESRI_s_ArcIMS_4.pdf

Wikipedia – Servicio General de Paquetes Vía Radio http://es.wikipedia.org/wiki/Servicio_general_de_paquetes_v%C3%ADa_radio

ArcGis 9.3 Online Help – Using Select By Location http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Using_Select_By_Location

Enfoques sobre el impacto de la salinidad del suelo en la agricultura usando imágenes de satélites. Acercamiento a la metodología radar FAO

Lau Quan, Andrés [a] ; Martín, Nelson b y Ponvert-Delisles Batista, Dámaso R. [a]

[a] Grupo de Investigaciones Agrofísica, Facultad de Mecanización Agraria, UNAH, Cuba
[b] Departamento de Ciencias del Suelo y Riego, Facultad de Agronomía, UNAH, Cuba

RESUMEN

Todavía se plantea con frecuencia que la teledetección es una tecnología novedosa en los estudios de salinidad del suelo y no es menos cierto, pero también ya hay experiencia, trabajos y resultados importantes. En este trabajo se exponen los elementos fundamentales de la metodología RADAR-FAO para la evaluación, monitoreo y manejo de desastres naturales en la agricultura y, su aplicación a la salinización como un caso de estudio.

Palabras clave: salinización, desastre, intensidad, impacto, RADAR-FAO

ABSTRACT

Today often is said that remote sensing is a new technology for soil salinity study and these is true, but right now there are important experience, works and results. Fundamentals features of RADAR-FAO methodology for evaluation, monitoring, management and its application on the process of soils salinization are explained in this paper.

Keywords: salinization, disaster, intensity, impact, RADAR-FAO

INTRODUCCIÓN

EL FENÓMENO DE SALINIZACIÓN DESDE LA ÓPTICA FÍSICO-QUÍMICA

Para que ocurra el proceso de salinización en los suelos también llamado proceso Solonchak es necesario que existan condiciones para la presencia de soluciones saturadas con cationes alcalino y alcalino-térreos, y el mecanismo de la interacción suelo: clima: hombre puede conllevar al proceso de salinización del suelo., la formación de los suelos Solonchaks tiene relación no solamente con la acumulación de las sales, sino también con el factor tiempo para que la presencia de las sales solubles ejerza su influencia a través del proceso de formación de suelos (PFS), dando lugar a la manifestación de las propiedades que caracterizan estos suelos.

Este proceso se manifiesta principalmente por la acumulación y redistribución ascendente de las sales solubles. En numerosas regiones del mundo la fuente principal de las sales solubles proviene de las rocas madres.

Durante la formación del suelo, las sales solubles se disuelven por las aguas de lluvia y son lavadas hacia las aguas subterráneas, ríos, lagos y mares. La salinidad de las aguas marítimas y oceánicas está relacionada con la acumulación de las sales solubles que provienen de las tierras de nuestro Planeta.

Por su origen, la acumulación de sal se divide en continental y marítima. La acumulación de sal continental está condicionada por la concentración de sales que se liberan durante el intemperismo en las depresiones de diferente tipo y llanuras sin desagüe. Un ejemplo de ello se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Salinización continental

En condiciones continentales con clima árido y semiárido, donde las precipitaciones son menores que la evapotranspiración, en el caso de un manto subterráneo salino cerca de la superficie, ocurre el proceso de salinización natural de las tierras en la forma siguiente:
La capa de agua sobresaturada con sales, asciende por elevación capilar, alcanzando la superficie del suelo.

El agua se evapora y las sales solubles se precipitan. Este mecanismo se mantiene por el flujo capilar del manto cerca de la superficie, estableciéndose en forma constante como se muestra en la figura 2. De esta manera se acumulan las sales fácilmente solubles en el agua. Durante la cristalización las sales llenan los poros y espacios vacíos del suelo, dispersando las partículas y manteniendo en estado seco una consistencia friable del suelo

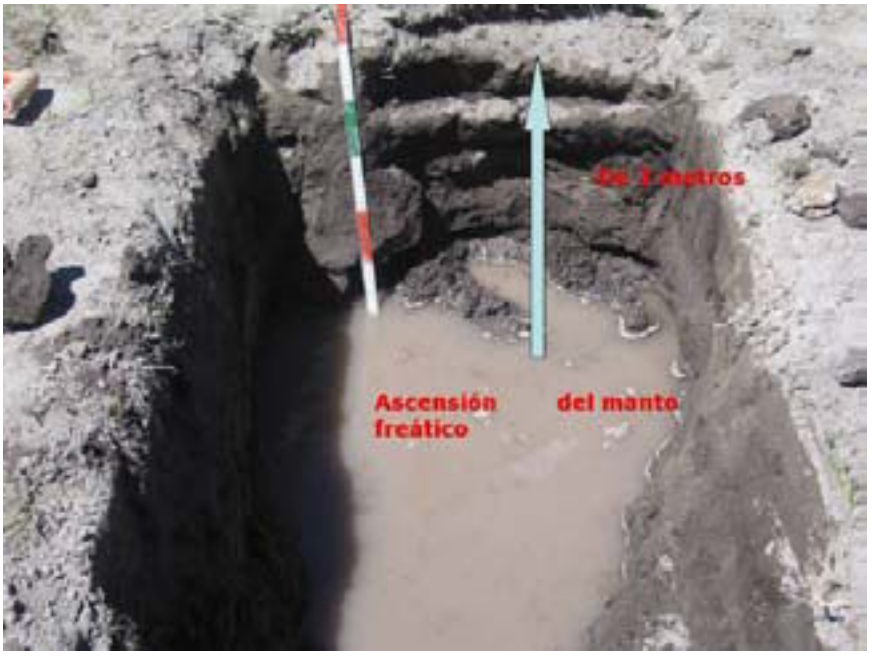


Figura 2. Ascensión del agua salinizada desde el manto freático a la superficie del suelo

UTILIZACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN EN LOS ESTUDIOS DE LA SALINIDAD DEL SUELO.

Los método de teledetección aplicados a los estudios de la salinidad pueden clasificarse o dividirse en dos grandes grupos (como en muchas otras aplicaciones de la teledetección): los que la información se obtiene por apreciación visual de las imágenes o a lo sumo mediante un indicador de clase y, los que la información se obtiene mediante valores de alguna magnitud que representa la imagen o elementos ocultos tras los que se observan; tal es el caso de la salinidad del suelo, o más específico la conductividad eléctrica del suelo cubierto por un cultivo o por la vegetación. En la figura se muestra un esquema de los principales métodos, sensores e imágenes utilizados.
La salinización representa un incremento de riesgos medioambientales, especialmente en áreas regadas. Esto reclama por el monitoreo para ayudar a tiempo a los tomadores de decisión en el manejo, recuperación y rehabilitación de la tierra. El monitoreo de la salinidad es grandemente realzado cuando se usan datos de teledetección, los cuales sin embargo necesitan transformación antes que sean usados para la identificación y detección del cambio. La detección y la estimación de los cambios entre una situación actual y una pasada involucran incertidumbres sobre la vecindad, naturaleza y magnitud de los cambios, que pueden resolverse usando el conocimiento de expertos.
Los mejores resultados de monitoreo se obtienen cuando se integran datos de teledetección con datos de campo y de laboratorio. En esta consideración, los sistemas de información geográfica ofrecen la ventaja de integrar datos de diversa naturaleza en términos de escala, tiempo, fuente y estructura. Es el reto del investigador identificar los indicadores más adecuados de la salinidad para un área particular, tal que técnicas apropiadas en tierra y de teledetección puedan ser aplicadas para extraer la información de una manera exacta y costo−efectiva.

Una de esas técnicas es la de redes neuronales, las cuales permiten ajustar la relación entre las variables independientes y dependientes sin ceñirse a una función matemática específica y por tanto incrementar su exactitud. Esto sólo requiere a cambio la reiteración del proceso de aprendizaje hasta lograr

el ajuste o precisión requerido, de aquí que se escogió para desarrollar esta tesis en combinación con los métodos de integración de datos vigentes y el uso de imágenes multiespectrales de alta resolución, que hasta el presente sólo se había usado como clasificación de los suelos afectados por la salinidad.

EL FENÓMENO DE SALINIZACIÓN COMO EVENTO DESASTROSO

Si nos guiáramos exactamente por la definición de "evento" expresada en la metodología RADAR (Borgia, A., et. al., 2008), no incluiríamos a la salinización del suelo entre éstos. Sin embargo, dado que el fenómeno encierra elementos de degradación del medio, conducentes a fenómenos más impactantes aún para el medio ambiente y la agricultura en particular, consideramos de importancia realizar su caracterización a partir de los elementos considerados por la metodología mencionada.

Para la metodología RADAR, un evento es "un fenómeno relativamente corto que perdura en el tiempo, de una alta amplitud, que es acompañada de una alta degradación de los elementos del medio ambiente". Evidentemente, no es el caso de la salinización, que no es un fenómeno súbito. Más bien es lento y progresivo.

Tampoco le es característico una amplitud desbordada como pudiera ser el caso de un huracán, en el que son evidentes los rangos mínimos y máximos de la velocidad de los vientos. Sin embargo, la salinización es un fenómeno perdurable en el tiempo, causante de la degradación del suelo y otros elementos medioambientales, razones más que suficientes para considerarlo como un fenómeno natural a ser considerado en un análisis como el presente.

De igual manera los autores (Borgia, A., et. al., 2008), definen lo que para los efectos de la metodología RADAR es un desastre en los términos siguientes: "Un desastre es la consecuencia general de un evento que ocasiona una disrupción significante de la vida normal o al menos de pequeños asentamientos humanos".Visto de esta manera, la salinización del suelo, no calificaría como desastre. Lo cierto es que el fenómeno que nos ocupa, es causante de un impacto significativo directo al medio ambiente, en particular a la agricultura, por su alta incidencia en la calidad de las producciones agrícolas; e indirectamente, a las familias productoras, que dejan de percibir las ganancias como resultado de la caída de los bienes y servicios derivados de sus producciones.

Aun con estas limitantes, consideramos un reto, analizar la salinización del suelo a partir de los cánones de la metodología RADAR, y lo hacemos con el fin de profundizar en el modelo conceptual de éste y de otros fenómenos que se comportan de manera lenta y progresiva y llegar a conclusiones que permitan generalizar los procedimientos analizados.

De acuerdo con la metodología RADAR (Borgia, A., et. al., 2008), las características principales de un evento desastroso son cuatro: a) duración; b) amplitud; c) magnitud; y d) magnitud local.

Analicemos este punto de vista.

a) Duración: "Es el intervalo de tiempo entre la situación normal antes y después del fenómeno". Obviamente, para el caso de la salinización es un tanto difícil situar los límites de cuándo un suelo comienza y termina de salinizarse.

Es decir, no es tan evidente como en otros fenómenos que ocurren en un breve lapso de tiempo. No obstante, es nuestro criterio de que por los registros históricos, es posible acercarse a una fecha que podría ser considerada como la situación normal (línea base) del territorio. La fecha después del fenómeno, podría tener varios límites, por cuanto, el fenómeno es progresivo, lo que implica que su amplitud de hecho varía con el tiempo en dependencia de la intensidad de las precipitaciones y de la actividad que introduzca el hombre ara recuperar estos suelos.

b) Amplitud: "Es la medida cuantitativa de la energía máxima por unidad de tiempo asociada con el evento". En el caso que nos ocupa, no hay una manifestación exógena de energía como es característico de otros fenómenos, que al producirse, liberan determinados valores de energía. Por ejemplo, un terremoto produce determinados rangos de energía, asociados a los fenómenos energéticos que ocurren en el interior de la tierra y estos valores tienen una amplitud dada en función del tiempo. Para el caso que nos ocupa, la amplitud estaría dada en cómo varía el nivel de conductividad eléctrica del suelo en la unidad de tiempo.

c) Magnitud: "Es una medida cuantitativa del total de energía de un evento". Para el caso de salinización del suelo, las magnitudes estarían dadas por los valores máximos de amplitud registrados, en este caso, los valores de conductividad eléctrica del suelo para un área de estudio dado.

d) Magnitud local: "Es la energía cuantitativa localmente asociada con el evento; es una función de la duración y la amplitud del evento". Para el caso de la salinización, se manifiesta en las magnitudes de conductividad eléctrica del suelo en distintos puntos del territorio estudiado y para distintos tiempos.

Como se mencionó antes, a escala internacional existe una carencia general de escalas de intensidad para la mayoría de los tipos de amenazas. En particular no han sido desarrollados trabajos consistentes en este sentido en la agricultura para identificar la escala de intensidades apropiadas para diferentes tipos de eventos desastrosos.

De ahí que para una rápida evaluación del impacto, sea esencial desarrollar escalas estandarizadas de intensidad que puedan ser usadas para evaluar el impacto en la agricultura, por cada categoría de evento destructivo. En la definición de las escalas de intensidad, un número preliminar de reglas generales deben ser observadas:

a) Las escalas deben ser simples y fáciles de medir, incluso por personas inexpertas.

b) La definición de los intervalos entre gradaciones

subsecuentes de cada escala, debería expresar idealmente una correspondencia directa con la gradación de la magnitud local del evento (expresada en forma de escala lineal o logarítmica).
c) La escala de intensidad puede tener un límite inferior de corte (expresado por el daño mínimo), pero no un límite superior.
d) Los componentes del medio que serán usados para definir la intensidad en las diferentes gradaciones necesitan registrar los eventos sin que estén saturados (totalmente destruidos), ni tampoco insensibles (de poca degradación o casi nada). De hecho, los mismos componentes, pueden o no ser usados para diferentes gradaciones.
e) En cada gradación debería existir un número suficientemente grande de alternativas "registrando" componentes del medio, para permitir por redundancia y comparación de los resultados obtenidos en puntos específicos, temporadas, climas, composición de suelos y pendientes.
f) En la definición de cada escala, deberían ser establecidas algunos tipos de relaciones que permitan transformar de magnitudes (ppm (partes (de sal) por millón (de suelos)) o g de sal/g de suelo) a intensidades (dS/m o NDVI) del evento, y de intensidades a porcentaje de pérdidas (ecuación de Mass y Hoffman). Estas relaciones (las funciones de transferencias) pueden ser complejas, ambiguas o indefinidas, y conformarían el KB (Conocimiento-Base) indicado. Claramente, con el tiempo y la experiencia, estas funciones de transferencias pueden llegar a ser mejor definidas y cuantitativamente más sólidas.
g) Las observaciones remotas (a distancia) de eventos específicos deberían ser vinculadas directamente a eventos de intensidad.
Como resultado del estudio sistemático, de la investigación y la síntesis de las experiencias de trabajos desarrollados a escala nacional e internacional sobre el efecto de la salinidad de los suelos en los componentes del medio agrario, se pueden plantear las siguientes consideraciones:

MATERIALES Y MÉTODOS

ESTIMACIÓN DE LA SALINIDAD

Para la aplicación de la metodología RADAR-FAO se toma como materiales los trabajos realizados en el marco del proyecto EI-479 Mejoramiento del manejo de la salinidad de los suelos cultivados con caña de azúcar usando la Geoinformación, coordinado por la Universidad de Gante, Bélgica y con la participación de la Universidad Agraria de la Habana, Cuba y la Universidad Católica de Leuven, Bélgica, vigente de 1999 a 2004. Los trabajos consistieron en la estimación de la salinidad del suelo cultivado con caña de azúcar usando una imagen multiespectral IKONOS y técnicas de redes neuronales artificiales.
El sitio experimental se encuentra en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) "Lázaro Romero" de la Empresa Azucarera (EA) Héctor Molina, en el municipio San Nicolás de Bari, provincia La Habana. La UBPC está situada en los 22° 22´ de latitud norte y los 81° 56´ de longitud oeste (ver Fig. 3.1); tiene una superficie de 1272 ha, de las cuales 1320 ha están dedicadas al cultivo de la caña de azúcar y el resto a cultivos para el autoconsumo, principalmente arroz. El clima es tropical, con vientos moderados, variaciones de temperatura promedio entre 21,3 °C en enero y 27,7 °C en julio; el período lluvioso está comprendido entre mayo y noviembre y proporciona casi el 75 % del promedio anual de precipitaciones que es de 1270 mm. Durante el año la humedad relativa fluctúa entre el 60 % y el 90 %. En la tabla 1 se muestra un resumen del objetivo del trabajo, los lugares donde se hicieron las mediciones, los tipos de mediciones y los materiales usados.

Tabla 1. Resumen de los trabajos realizados para la estimación de la salinidad.

Experimento	Lugares de las mediciones	Tipo de medición	Materiales
Ajuste de la CEe con los índices de vegetación mediante redes neuronales	Bloques 15, 28, 29N y 29S.	CEa Coordenadas Humedad Temperatura	Imagen multiespectral de satélite IKONOS Receptores GPS Sonda de cuatro electrodos (con termómetro incorporado) Cilindro porta-muestra, balanza, estufa Medios de cómputo

De manera muy resumida el trabajo consistió en los pasos siguientes:

Toma de datos y preparación de datos

1. Medición de la conductividad eléctrica aparente mediante una soda de cuatro electrodos en 36 puntos de 4 bloques escogidos según criterio de experto y considerando un desarrollo estratificado de la caña de bloques y que tuvieran atenciones culturales o agronómicas uniformes.

2. Determinación de la humedad del suelo por métodos de gravimétricos
3. Obtención de la conductividad eléctrica del extracto de saturación a partir de la conductividad eléctrica aparente y la humedad.

Procesamiento de datos

1. Entrenamiento de la red neuronal con los datos de CEe e NDVI.mediante el programa RSalinidad y la realización de números de iteraciones variado.

2. Estimación de la salinidad mediante el control de la red neuronal Visualización de los mapas obtenidos mediante el SIG ILWIS que se muestran en las figuras 3, 4, 5 y 6.

Los antecedentes de este trabajo de estimación de la salinidad del suelo son los trabajos realizados por Pulido, et al , 1995 y 1977, Dwivedi, et, al, 1992, 1996 , 2001., Lau et. al, 1998, 2003, Rao et al, 1991, 1995 y Weigand et al, 1991, 1993, 1994, 1996 quienes usaron imágenes Landsat SPOT, mediciones de campo de conductividad eléctrica, y herramienta matemática de regresión lineal simple y múltiple y obtuvieron mapas de clasificación y de estimación de la salinidad.
Otros trabajos sobre salinidad de los suelos aplicando diferentes técnicas y herramientas pero dentro de la teledetección son los realizados por Evan et al, 1995, 1998 y 2000, Metternicht, et al, 1998a, 1998b, 1999, 2001., tales como integración de datos, estimación de riesgos de salinización, clasificación difusa, relación entre reflectancia e indicadores ambientales, estimación de cambios espaciales y temporales de la salinidad, etc.

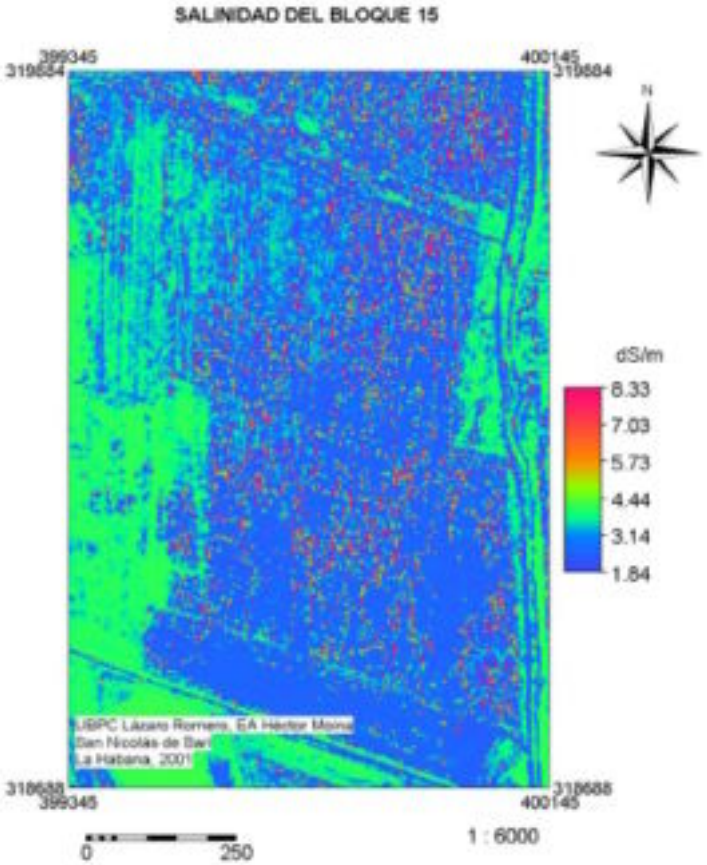


Figura 3 Mapa de salinidad del bloque 15

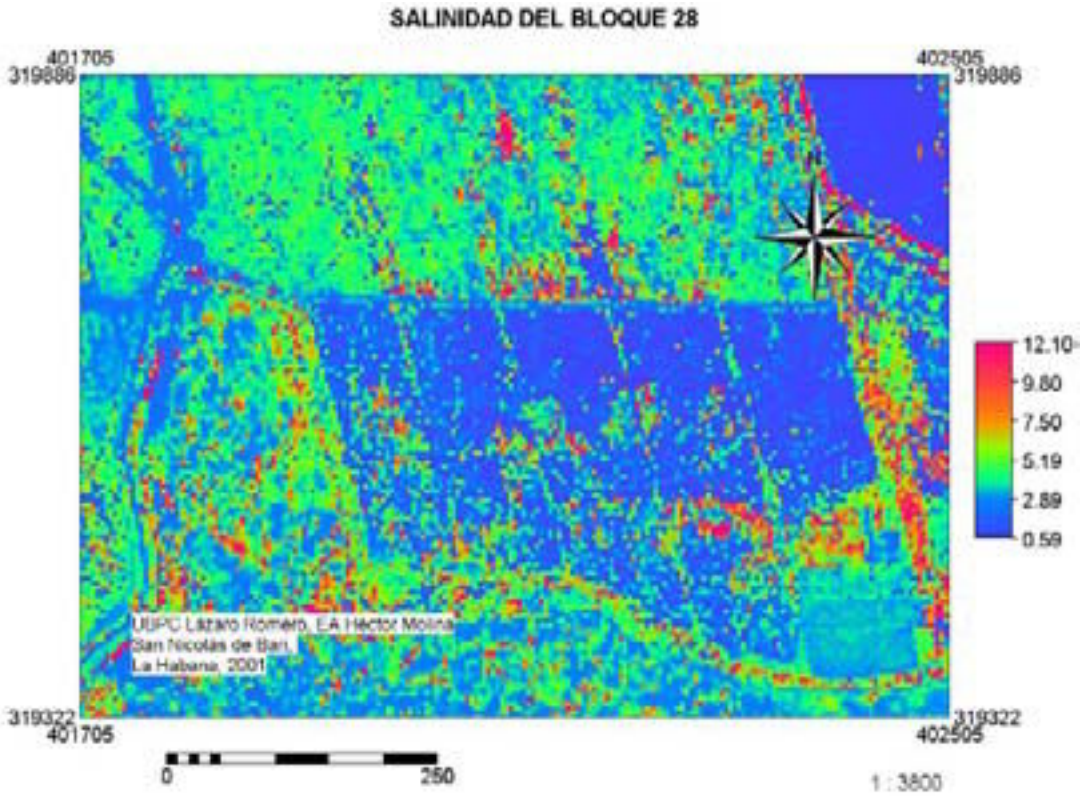


Figura 4. salinidad del bloqie 38

ELEMENTOS TOMADOS DE LA METODOLOGÍA RADAR

La aplicación de la ecuación de Maas y Horfman al cartograma digital de salinidad nos daría un mapa (un raster) de rendimiento del cultivo. La dificultad principal aquí es que no se disponen de valores de parámetros de la ecuación de Maas y Hofman en la mayoría de las situaciones.

Por último, en el caso que se tuviera tales parámetros, al mapa (raster) de rendimiento se realiza un agrupamiento de los píxeles (o celdas raster) según criterio de experto o de la experiencia (KB) y se obtiene un mapa de intensidad del daño de la salinización.

En este caso, dado la similitud de los valores de CE dentro de cada bloque, el mapa de intensidad aparecería a lo sumo de dos a tres colores.

Como se dijo al principio del trabajo, la salinización es un evento desastre bien diferente a un huracán y a un terremoto, porque además de no ser brusco ni tener tiempo de inicio y conclusión definidos, afecta pocos elementos del paisaje en si y mucho menos detectables mediante imágenes aeroespaciales: en la práctica se reduce al suelo, la vegetación (natural y cultivada) y algunos pocos elementos de la infraestructura–

Las Tablas 2, 3 y 4 definen elementos claves importantes relacionados con el área donde tiene lugar la evaluación del impacto del evento.

Tabla 2. Área de impacto y comunidad afectada aplicada a GUANAMÓN

Área	Comunidad afectada
Región	Área cañera de la EA "Héctor Molina".
Área	UBPC "Lázaro Romero"
Parcela	Bloques cañeros limitrofes con el mangle
Comunidad	Comunidad Guanamón y aledañas, incluye hasta los residentes de los alrededores del central.

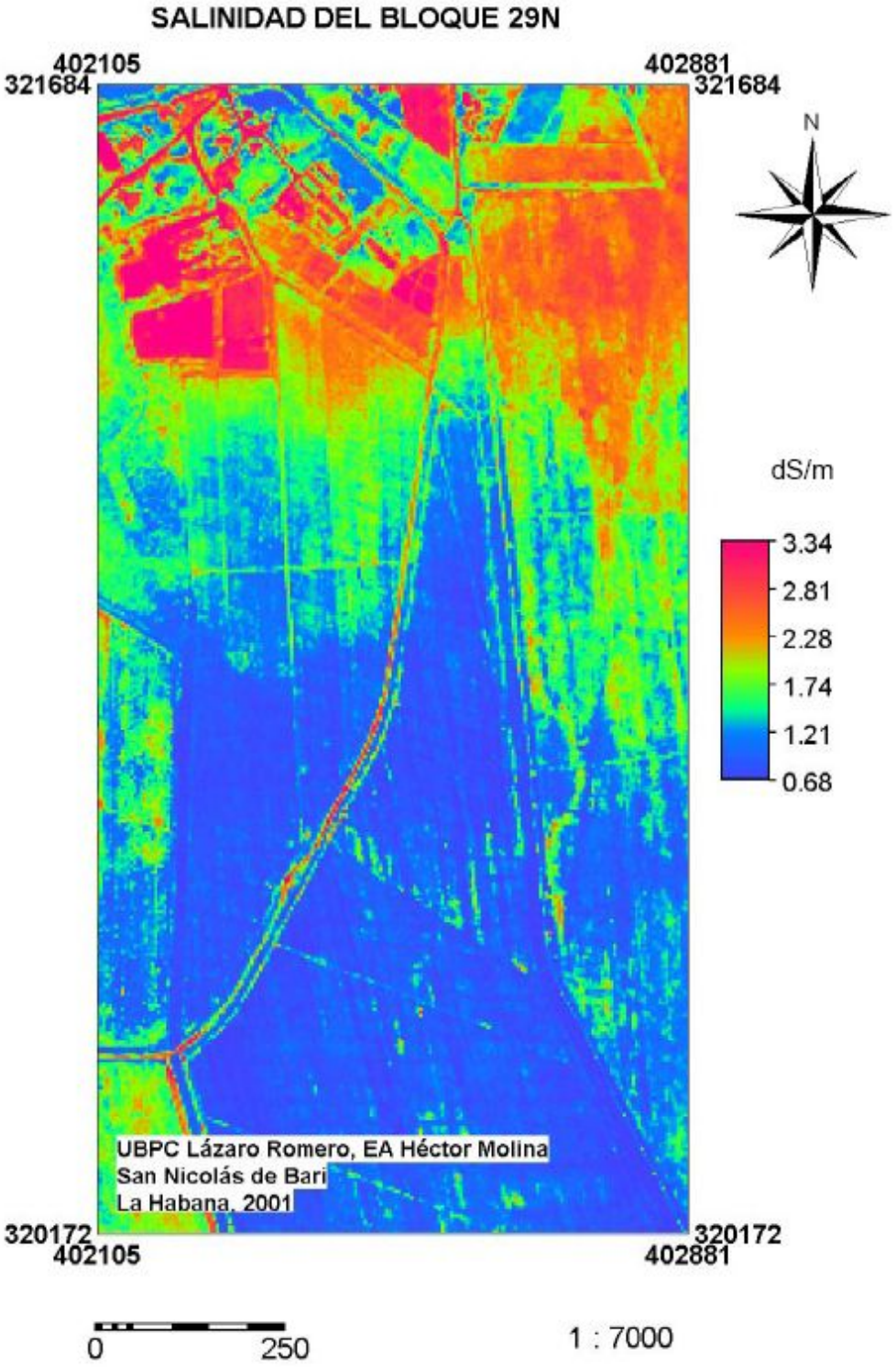


Figura 5. Mapa de salinidad del bloque 29N

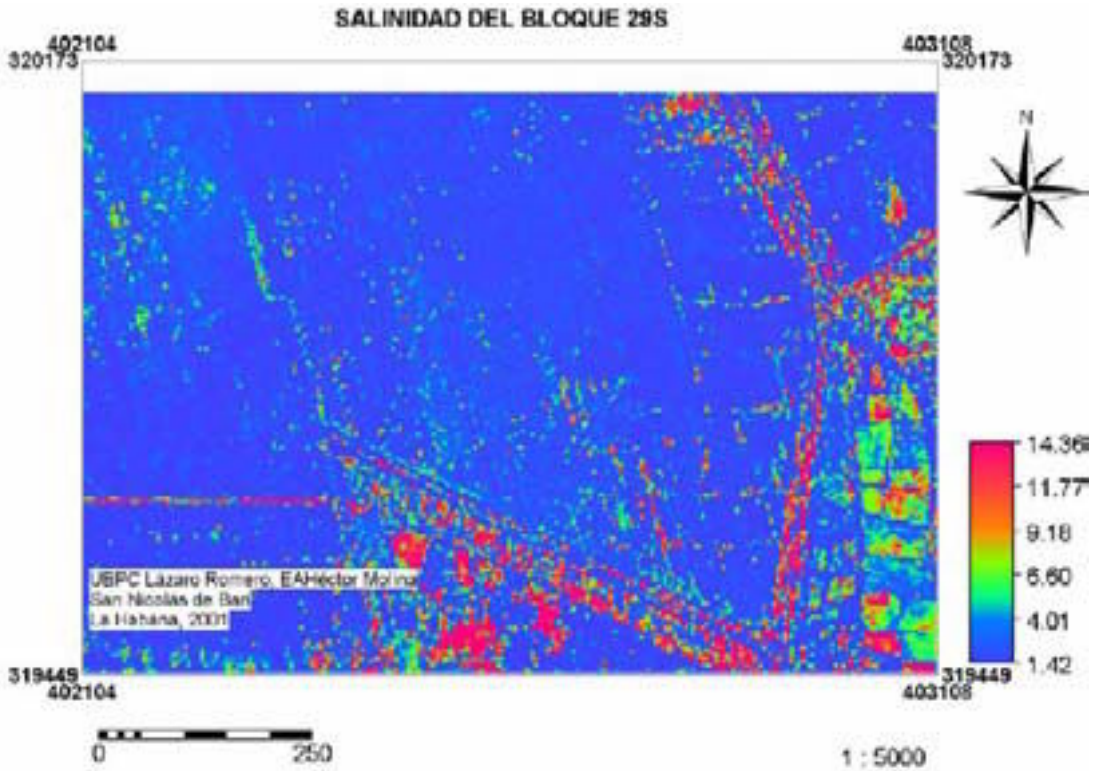


Figura 6. Mapa de salinidad del bloque 29S

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RADAR–FAO

La aplicación de la metodología RADAR–FAO para la evaluación de los daños a la agricultura por la salinización de los suelos implica o incluye la estimación de la salinidad previamente por uno de los métodos descritos en el párrafo anterior.
Para el caso de la salinidad el modelo físico mediante el cual se convierte la magnitud (salinidad medida por la conductividad eléctrica) en pérdida del rendimiento del cultivo es la ecuación de Maas y Hoffman 1977.; cuando el suelo está cultivado por supuesto. La escala de intensidad del daño es el resultado de la experiencia de muchos años. Le ecuación de Maas y Hoffman para el cultivo de la caña de azúcar toma los parámetros

$RR = 100^* (CE_0 - CEs)/(CE_0 - CE_{100})$
$RR = 100^* (4.0 - CEs)/(4.0 - 16.0)$

Dado que se acepta que el suelo con CE de 4 S/m o menos la caña de azúcar tiene 100 % de rendimiento, mientras que para CE de 16 dS/m o más no se da la caña de azúcar.
Desde el punto de vista computacional esta ecuación se aplicó a los mapas de salinidad (raster) en el SIG ILWIS, mediante la operación MapCalc con lo cual se obtienen los mapas de pérdida de rendimiento de la caña de azúcar.
Finalmente, mediante el SIG ILWIS se reagrupan los valores de las celdas raster acorde con la escala de intensidad de 6 valores definida como se ha reiterado sobre la base de la experiencia se obtiene el mapa de intensidad del daño.

RESULTADOS

Los resultados que se presentan en esta sección están afectados o limitados por la dificultad de obtenerlos de las instituciones y oficinas que los poseen o en ocasiones no existen tales datos, de aquí que hemos considerado en llamar al trabajo un acercamiento a la metodología RADAR–FAO.
En la tabla 3 se presentan los elementos del medio ambiente afectado por la salinidad y en la tabla 3 las

Tabla 3. Ambiente y elementos; medio y componentes

Medioambiente	Elementos naturales y socio-económicos (broad)
Elemento	Caña de azúcar
Milieu (medio)	Caña de azúcar, suelo, arroyo.
Componente	Bloques cañeros

Tabla 4. Valores, porcentaje de pérdidas, degradación y disrupción.

Valor	La caña de azúcar es la materia prima de la producción del azúcar.
Porcentaje de perdidas	No se ha conseguido el dato.
Degradación	Debido a la pequeña salinidad el porcentaje areal es insignificante,
Disrupción	Disminución de la producción de azúcar
Impacto	Disminución de la producción de azúcar (negativa) Disminución de la masa foliar Cambio de la caña a cultivos para el autoconsumo?.
Impacto total (Toll)	Disminución de la masa foliar .
Daño de un componente	No se tiene el dato
Daño de una parcela	No se tiene el dato

La figura 7 muestra un esquema de lo que los principales elementos de que consta la metodología RADARFAO aplicada.

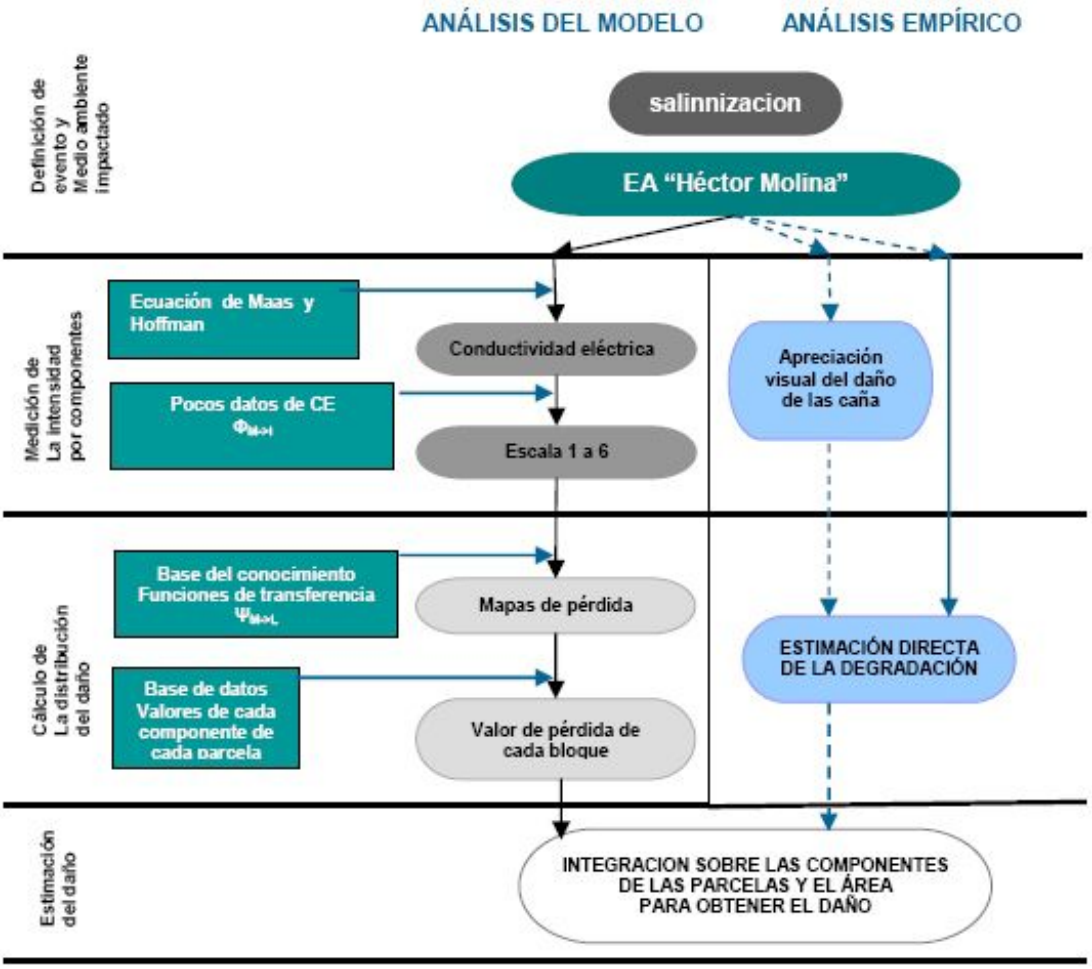


Figura 7. Elementos de la metodología RADAR−FAO para el caso de la salinizaciòn.

La figura 8 muestra un diagrama de flujo de los parámetros a tener en cuenta para caracterizar el medio ambiente impactado, y en la tabla 5 se presenta la caracterización del evento "salinización del suelo" con una estructura de árbol.

En la tabla 6 se muestra la Serie tentativa de los componentes del medio relativos a la producción agrícola para los cuales debería ser determinado los valores en cada parcela, incluyendo las sub-clases para el caso del evento "salinización del suelo".

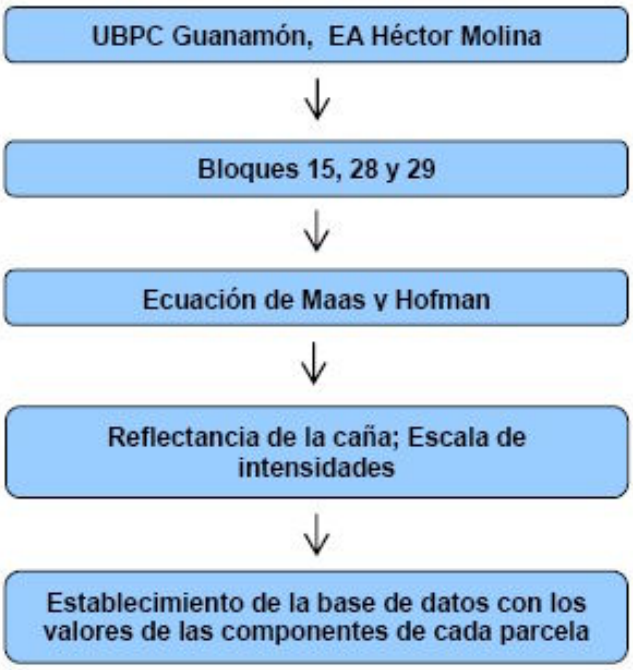


Figura 8. Parámetros de la evaluación del impacto.

Tabla 5. Evento del "desastre" salinización en estructura de árbol.

	Características	Niveles
Evento desastroso	Eventos simples causantes	Intrusión salina Mal drenaje
	Niveles de intensidad de los eventos considerados	1-6
Medio afectado y su vulnerabilidad	Componentes del medio	
	Tipo de cultivos	Caña de azúcar
	Tipo de suelo	Gley Ferralítico Concresionado
	Rango de pendientes	1-4 %
	Tasa de cobertura del suelo	85 %
Resultados	Nivel de daños	Medio

Tabla 6: Serie tentativa de los componentes del medio relativos a la producción agrícola para los cuales debería ser determinado los valores en cada parcela, incluyendo las sub−clases para el caso del evento "salinización del suelo".

	Componentes	Sub-componentes típicos identificados (de acuerdo al medio)
Sistema de recursos para la producción agrícola	Recursos naturales	Arroyo
	Recursos humanos	Se desconoce
	Recursos socio culturales	Se desconoce
	Otros recursos	Ninguno
Actividad y sistemas de Producción	Sistemas de cultivos	Autoconsumo
	Sistema de ganado	No existe
	Sistemas forestales	Mangle (silvestre)
	Sistemas de pesquerías	No existe
	Sistemas de cacería	No existe
Sistemas de apoyo (incluyendo organización e infraestructura)	Sistemas de recolección	Alzadoras y carretas
	Construcciones campestre	Centros de acopio
	Maquinaria y herramienta	
	Sistemas de apoyo de entrada	Se desconoce
	Accesos y sistemas de mercado	Se desconoce
	Sistemas de investigación	No existe
	Sistemas de recursos económico	Se desconoce

CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología RADAR−FAO para evaluar los daños en la agricultura por la salinización del suelo mediante la teledetección, propicia unificar criterios para evaluar dichos daños,

REFERENCIAS

Borgia, A., Gumees, R., Bernardi, M., Kanamaru, H. 2008. Rapid Agricultural Disaster Assesment Routine (RADAR). Environment Natural Resources Serie 12. Food and Agriculture Organization of the United States, Rome, 2008.

Centro Nacional de Suelos y Fertilizantes (CNSF),1985. Estudio nacional de salinidad y sodicidad en base al mapa de suelos escala 1:50 000. MINAGRI. La Habana, 77 pp. 1985.

Cid, G. 1985. Informe de la caracterización física e hidrofísica de los suelos de la EA Héctor Molina que aplican el método Bioclimático para el pronóstico de riego. 36 pag. Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje. (Informe Mimiografiado)

Dwivedi, R. S. y B. R. M. Rao. 1992. The selection of the best possible Landsat TM band combination for delineating salt−affected soils. Int. J. Remote Sensing, 1992, Vol 13, No. 11, pp. 2051−2058.

Dwivedi, R., Ramana, K., Thammappa, S., & Singh, A. 2001. The unity of IRS−1, LISS−III and PAN−merged data for mapping sal−affected soils. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 67, 1167–1175.

Dwivedi, R.S. 1996. Monitoring of salt−affected soils of the Indo−Gangetic alluvial plains using principal component analysis. Int. U. Remote Sensing, 1996, Vol 17 No. 10, pp.

Eijkelkamp, 1999. Operating Instructions. 12−01 EC−Probe set for salinity measurements. Agrisearch Equipment, 1999. M1.1201.E

Evans, F. H., Cacceta, P. A., Ferdowsian, R., Kiiveri, H. T. y Cambell, N. A−, 1995. Informe del proyecto LWRRDC " Integrating Remotely Sensed Data With Other Spatial Data Sets to Predict Areas at Risk from Salinity", CSIRO Mathematical and Information Sciences. Junio 1995.

Evans F., Caccetta, P. 2000 Broad-scale spatial prediction of areas at risk from dryland salinity. Cartography, 29, 33–20.

Evans, F. 1998. An investigation into the use of maximum likelihood classifiers, decision trees, neural networks and conditional probabilistic networks for mapping and predicting salinity. MSc thesis, School of Computer Science, Curtin University of Technology. Perth. WA.

García, E. 1997. Aplicación de las redes neuronales artificiales en la clasificación de imágenes multiespectrales de teledetección. Tesis de en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Ciudad de La Habana.

Cid, G. 1985. Informe de la caracterización física e hidrofísica de los suelos de la EA Héctor Molina que aplican el método Bioclimático para el pronóstico de riego. 36 Pág. Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje. (Informe Mimeografiado)

Landsat 7, 2001. Science Data Users Handbook. Chapter 11. Data Products. http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/chapter11/chapter11.html

Lau, A., Lhermitte, S., Gilliams, S., Ruiz, M.E., 2003. Relación de la salinidad del suelo con la reflectancia multiespectral de la caña de azúcar cultivada en condiciones extremas. Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol 11, No. 3. 19-29.

Lau, A., Utset, A., Garea, E., 1998. Informe final proyecto CITMA. Una Tecnología para el diagnóstico de la salinidad de los suelos utilizando la teledetección, un Sistema de Información Geográfica (SIG), técnicas geoestadísticas y sensores eléctricos, código No. 00200063 del PNCT Producción de alimentos por vías sostenibles.

Lhermitte, Stefaan, 2002. Improving Soil Salinity Management in Sugarcane Using Earth Observation. Trabajo de diploma presentado en la Universidad de Leuven pp. 100.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., 1987. Remote Sensing and Image Interpretation. Second Ediction. John Wiley & Sons, 721 pp.

Mass, E.V. y G. J. Hoffman, 1977. Crop salt tolerance and current assessment. J. Irrigation and Drainage div. ASCE vol 103(2): 115-132.

Mettercnicht, G., I. 1998. Fuzzy classfication of JERS-1 SAR data: an evaluation of its performance for soil salinity mapping. Ecological Modeling, 111, 61–72.

Metternicht, G. (1998a). Analysing the relationship between ground base reflectance and environmental indicators of salinity processes in the Cochabamba Valleys (Bolivia). International Jourtnal of Ecology and Environmental Sciences, 22, 359 – 370.

Metternicht, G. (2001). Assessing temporal and spatial changes of salinity using fuzzy logic, remote sensing and GIS. Foundations of an expert system. Ecological Modelling, 122, 163–177

Metternicht, G. I., & Zinck, J. A. 1996. Modelling salinity –alkalinity classes for mapping salt-affected topsoils in the semi-arid valleys of Cochabamba (Bolivia). ITC Journal, 1996-2, 125–135.

Metternicht, G., & Fermount, A. 1998. Estimating erosion surface features by linear mixture modelling. Remote Sensing of Environment, 62, 252–265.

Metternicht, G., 1998a. Analysing the relationship between ground based reflectance and environmental indicator of salinity processes in the Cochabamba Valleys (Bolivia). International Journal of Ecology and Environmental Sciences, 22, 359–37.

Metternicht, G., Hageman, E., Beeston, G., & Honey, F. 2001. Mapping variations in crop conditions using airbone videography. Proceedings of the 20th International Cartographic Conference, Beijing, China. August (pp. 732– 723). International Cartographic Association.

Metternicht, G., I. 1998. Assessing temporal and spatial changes of salinity using fuzzy logic. Remote sensing and

GIS. Foundations of an expert system. Ecological Modelling, 122, 163–177.

Metternicht, G., I., & Zinck, J. A. 1997. Spatial discrimination of salt- and sodium-affected soil surfaces. International Journal of Remote Sensing, 18, 2571–2586.

Metternicht, G. I., & Zinzk, J. A. 2003. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. Remote Sensing of Environment, 85. 1-20.

Norma Cubana 32:1999. Calidad del Suelo. Determinación del pH y la conductividad eléctrica en el extracto de saturación: IDS.13.080; 6 pag., 1999.

Obregón A., Bosch, D., Pérez-Jiménez, J., Avila, L. y Lamorú, G., 1988. Instrucciones metodológicas para la cartografía a escalas detalladas de los suelos salinos y salinizados de Cuba. Instituto de Suelos, La Habana, 26 pp., 1988.

Ortega, F., J. Pena y N. Castillo.1986. La salinidad de los suelos de Cuba. Aspectos económicos globales. Cienc. de la Agric. 27, 137-122, 1986

Peng, W, L. 1998. Synthetic analysis for extracting information on soil salinity using remote sensing and GIS: a case study of Yangao Basin in China. Environmental Management, 22, 153–159.

Plyusnin, I. 1962. Reclamative Soil Science. Foreign Languages Publishing House, Moscow.

Portuondo, O., Obregón, A., García, E., 1992. Tratamiento Análogo Digital de Fotografías Aéreas en la Determinación de la Salinidad. Monografía del Experimento Internacional Caribe 88. Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, La Habana.

Pulido, L., B. Robles, J. González, C. L. Wiegand, H. Sanvicente. 1997. Aplicación de imágenes de satélite para identificar la salinidad del suelo y las áreas con mal drenaje. VII Congreso Nacional de Irrigación, Hermosillo, Sonora, México, 22-22 octubre 1997. Pp.10-12.

Pulido, L., J. González, B. Robles y C. L. Wiegand. 1997. Soil salinity surveying using satellite imagery and a portable sensor. International Symposium on Sustainable Management of Salt Affected Soils in the Arid Ecosystem, Cairo, Egipto, Septiembre 22-26, 1997. pp. 91-105.

Pulido, M. L., H. S. Sánchez, C. L. Wiegand y G. L. Anderson. 1995. Estimación de pérdidas de cosecha en suelos ensalitrados mediante imágenes de satélite. Memorias VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, Puerto Vallarta, México, 1995. Pp. 888-891.

Rao, B. R. M., & Venkataratnam, L., (1991). Monitoring of salt-affected soils –a case study using aerial photographs, Salyut-7 space photographs, and Landsat TM data, Geocarto International, 6, 5–11.

Rao, B., Sankar, T., Dwivedi, R., Thammappa. S., Venkataratnam, L., Sharma, R., & Das, S. 1995. Spectral behaviour of salt-affected soils. International Journal of Remote Sensing, 16¸ 2125–2136.

Rao, B.R.M., Ravi Sankar, 1995. T., Dwivedi, R.S., Thammappa, S.S., Venkataratnam, I., Sharma, R.C., Das, S.N. Spectral behaviour of salt-affected soils. Int. J. Remote Sensing, 1995, Vol 16, No. 12, pp. 2125-2136.

Rivero, L., Gálvez, V., Navarro, N., y otros, 2001. Sistema de información, sistema de monitoreo y soluciones tecnológicas para preservar a los suelos de la salinidad y posible impacto de los cambios climáticos en agroecosistemas con problemas actuales de salinización. PNCT Cambios globales. Informe final del proyecto 01305005. Instituto de Suelos, 125 pp.

Van Meirvenne, M. 2000. Some recommendations concerning the spatial inventory at Guanamon farm, Southeaster Habana province, Cuba.- Partial Report of Project “Improving of soil salinity management crops under sugarcane using Geoinformatic”.

Wiegand, C. L., Escobar, D.E., Lingle, S.E., 1993. Growth and yields responses of sugar cane to saline soil. I. Sensing

and mapping using aerial videography., Proceedings 1993. Vol. 1 Inter−American Sugar Cane Seminars, “Sugar cane and our environment”.

Wiegand, C. L., J.D. Rhoades, D. E. Escobar y J. H. Everitt.,1992 Photographic and videographic observations for determining and mapping of response of cotton to soil salinity. Remote Sen. Environ. 29:212−223, 1992.

Wiegand, C., G. Anderson, Sarah Lingle y D. Escobar. 1996. Soil Salinity Effects on Crop Growth and Yield− Illustration of an Analysis and Mapping Methodology for Sugarcane. J. Plant Physiol. Vol. 128. Pp. 218−222 (1996).

Wiegand, C., Richardson, A., Escobar, D., & Gerbermann, A. 1991. Vegetation indices in crop assessments. Remote Sensing of Environment, 35, 105– 119.

Wiegand, C.L., D.E. Escobar, and S.E. Lingle. 1992. Detecting growth variation and salt stress in sugarcane using videography. p. 185−199. In Proc. 12th Biennial Workshop on Color Aerial Photography and Videography for Resource Monitoring. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Modelo de inicio de la sequía en el Perú y en la costa norte usando los índices ENOS y los índices de vegetación del AVHRR/NOAA

Rojas Acuña, Joel [a]; Rufasto Campos, Eleazar [b]; Eche Llenque, José Carlos [a] y Carrillo Gomero, Flavio [c]

[a] **Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú**
[b] **Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo – Lambayeque, Perú**
[c] **Facultad Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú**

RESUMEN
Se propone un modelo de predicción de inicio de la sequía en el Perú y la costa norte utilizando la serie de tiempo de los promedios mensuales de las imágenes NDVI – AVHRR – NOAA, los índices El Niño Oscilación Sur (ENOS), y la técnica de regresión lineal múltiple. Se obtuvieron la serie de tiempo de los promedios mensuales de las anomalías estandarizadas de los índices NDVI y ENOS en el periodo de julio de 1981 a diciembre 2003. La evolución mensual del NDVI en el año 2000 en todo Perú muestra que los meses de sequía comienzan en agosto y terminan en diciembre. El NDVI promedio de todo Perú varía de 0.0 (suelo desnudo) a 0.7 (suelo vegetado). La desviación estándar del NDVI muestra que en la costa norte varía menos en comparación con la sierra y la selva.

Palabras clave: NDVI, NOAA, Sequía, Índices ENOS.

ABSTRACT

A model to predict the onset of draught in Peru and in the northern coast is proposed which uses the time series of monthly averages from the NDVI–AVHRR–NOAA images, the El Niño Southern Oscillation (ENOS) indices, and the technique of multiple linear regression. The time series of monthly averages of the standard anomalies of the NDVI and ENOS indices for the period from July 1991 to December 2003 was obtained. The monthly evolution of NDVI for the year 2000 in all Peru shows that the months of draught start in August and end in December. The mean NDVI in all Peru varies from 0.0 (naked soil) to 0.7 (soil with vegetation). The standard deviation of NDVI shows that in the northern coast it varies less in comparison with the Sierra and Jungle.

Keywords : NDVI, NOAA, Draught, ENOS indices

INTRODUCCIÓN

Los avances en el uso de los datos de satélite para vigilar las condiciones de la vegetación de la superficie de la Tierra hacen posible investigar la evolución espacial y temporal de la sequía desde el espacio en una escala global y regional. Desde 1981 los datos colectados por el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution) han sido utilizados para generar índices tales como el NDVI. Este índice ha sido aplicado exitosamente para clasificar los tipos de vegetación (Tucker et al., 1985; Menenti et al., 1993), y vigilar las condiciones de crecimiento de la vegetación (Kogan, 1990; Prince, 1991). El NDVI ha sido usado para hacer el seguimiento del estado fenológico del crecimiento de la vegetación a una escala regional (Justice et al., 1985), para vigilar la evolución de la sequía (Kogan y Sullivan, 1993; Liu y Kogan, 1996) y estimar la productividad de las cosechas (Prince, 1991). Liu y Ferreira (1991) reportaron una buena correlación entre la precipitación total mensual y el NDVI mensual acumulado. Di, Rundquist, y Han, (1994), a través de una simulación numérica, encontraron una buena correlación entre la precipitación y el NDVI diarios. Por lo tanto, el NDVI puede ser utilizado apropiadamente para inferir la sequía como un resultado de la escasez de precipitación. Los datos de precipitación colectados por estaciones de observación a menudo poseen una pobre resolución espacial, especialmente, en regiones remotas de difícil acceso, por consiguiente, el NDVI proporciona una valiosa fuente de información para vigilar la sequía con una alta resolución espacial (Justiniano y Luna, 2005; Kogan, 1997). El objetivo de este trabajo es contribuir al desarrollo e implementación de un procedimiento de predicción de periodos de sequía para Perú y la región Costa Norte de Perú usando las imágenes NDVI – AVHRR mensual en el periodo julio 1981 hasta diciembre 2003, los datos TSM medidos in–situ de las Regiones Oceánicas 1, 2, 3, y 4, y los

datos IOS (Liu y Negron, 2001).

DATOS IMÁGENES

DATOS IMÁGENES NDVI – AVHRR – NOAA

El conjunto de datos GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies) (GLCF, 2008; Tucker et al. 2004) es un producto denominado índice de vegetación de diferencia normalizada (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) disponible (acceso libre) por un periodo de 22 años desde 1981 a 2003. Este conjunto de datos es obtenido de las imágenes procedentes del instrumento Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo de la serie de satélites NOAA 7, 9, 11, 14, y 16. El conjunto de datos NDVI han sido corregidos por calibración, visión geométrica, aerosoles de los volcanes y otros efectos no relacionados al cambio de vegetación. El NDVI, en general, es una medida del estado hídrico de la vegetación y es usado en modelos climáticos para calcular fotosíntesis, el intercambio de CO2 entre la atmósfera y la superficie del suelo, evapotranspiración y la absorción y emisor de energía por la superficie del suelo. Los datos GIMMS fueron originalmente generados para caracterizar cambios biofísicos definidos en el proyecto ISLSCP (International Satellite Land Surface Climatology Project) (Wilks, 1995).

Datos índices ENOS

Los datos usados en este trabajo denominados índices ENOS son las anomalías estandarizadas de la temperatura de superficie del mar para diferentes regiones El Niño y los Índices de Oscilación Sur (IOS). Estos datos han sido obtenidos de la NOAA (CPC–NOAA). En este estudio se han utilizado los datos de la Temperatura de la Superficie del Mar de diferentes regiones El Niño. La Figura 1a muestra la ubicación de las regiones El Niño. La Temperatura de la Superficie del Mar en las regiones oceánicas 1,2 y 3,4 son obtenidos del Centro de Predicción del Clima (CPC–NOAA). El Índice de Oscilación Sur (IOS) es definido como la diferencia de presión del nivel del mar estandarizado entre Papeete, Tahití (149ºW, 17ºS) y Darwin, Australia (131ºE, 12ºS).

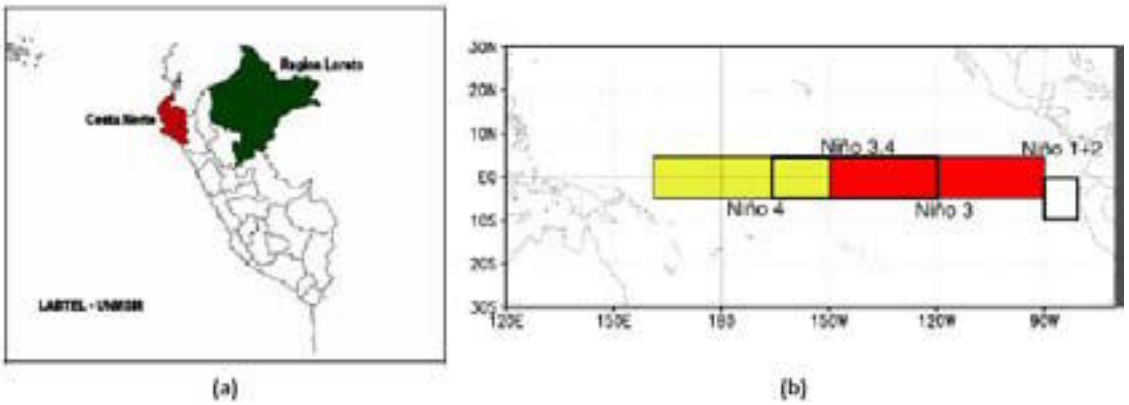


Figura (1a). Mapa del Perú con las ubicaciones de las áreas en estudio. (1b) Regiones El Niño (CPC–NOAA).

METODOLOGÍA

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la región Costa Norte (Figura 1a). Se determinara las anomalías NDVI de esa región y se correlacionará con las anomalías estandarizada TSM y IOS en el mismo período.

ANOMALÍA ESTANDARIZADA DEL NDVI

El NDVI ha sido calculado utilizando la banda 1 (0.58 – 0.68 µm) y la banda 2 (0.725 – 1.10 µm) del sensor AVHRR de la serie de satélites NOAA, utilizando la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1},$$

donde ρ1 es el valor de la reflectancia de la banda 1, ρ2 es el valor de la reflectancia de la banda 2. El rango de variación del NDVI es de –1 a +1. La serie de tiempo de los datos NDVI usados en este estudio son los valores promedios de todos los píxeles de 8km x 8 km de la áreas de estudio (costa norte y Loreto). Estos datos son usados para calcular los datos de la anomalía de NDVI. Wilks (1995) sugirió que, debido a la variación estacional de los eventos climáticos el uso de datos de anomalía estandarizada en lugar de valores promedio es más conveniente para investigar la diferencia NDVI anual de la normal. La anomalía estandarizada, z, es calculada con la siguiente ecuación,

$$z = \frac{x - x_p}{\sigma},$$

donde z es la anomalía estandarizada, x es el dato NDVI, xp es promedio muestral y σ es la desviación estándar.

TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR Y ANOMALÍAS DE ÍNDICES ENOS

El Índice de Oscilación Sur (IOS) es definido como la diferencia de presión del nivel del mar estandarizado entre las estaciones Papeete, Tahití (149ºW, 17ºS) y Darwin, Australia (131ºE, 12ºS) (GLCF, 2008). En la literatura, existen varias definiciones del índice El Niño basados en los datos TSM o Anomalías IOS, por ejemplo: (a) correlacionada con los valores negativos de IOS (Walter, 1923; Stoeckenius, 1981; Rasmusson, 1983). (b) correlacionada con la TSM (Cane et al. 1986) —El evento El Niño está caracterizado por un aumento de la TSM más alto que 2°C por un periodo de 12 meses que resulta en una anomalía de TSM en al menos 1°C por al menos tres meses; (c) para la región oceánica 3–4, Trenberth (1997) definió que el episodio ENOS ocurre mientras que el valor de la anomalía TSM es más alto que 0.4°C (El Niño) y también mientras que el valor de la anomalía es mas bajo que −0.4°C (La Niña). En este estudio, utilizamos datos TSM de dos regiones oceánicas 3,4 (5º N – 5º S y 120º W – 170º W) y 1,2 (0–10° S y 90° W – 80° W) (Figura 1b)

RESULTADOS

MAPAS DEL PERÚ: PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL NDVI

En la Figura 2 se muestra la distribución del NDVI promedio (2a) y su correspondiente desviación estándar (2b) de todo Perú para la serie de tiempo que corresponde a julio 1981 a diciembre 2003 del AVHRR – NOAA para píxeles espaciales de 8 x 8 km. En la Figura (2a) se observa que el NDVI varía de 0.0 a 0.7. En la región geográfica costa, el promedio es cerca de cero. La región sierra, esta dividida en dos sub–regiones, en la del norte el NDVI (0.4–0.5) es mayor que en la parte sur (0.1–0.3). En la región selva el NDVI es mayor que en las regiones costa y sierra (0.5–0.7). La desviación estándar (DE) del NDVI, Figura (2b), muestra que en la costa su DE es muy pequeño, cerca de 0.0. En la sierra varia de norte a sur desde 0.05 a 0.2. En la selva la DE es mayor y varia desde 0.15 a 0.3. Ambas Figuras delimitan muy bien las tres regiones geográficas peruanas. En la Figura 2a, se presenta los límites de las principales zonas ecológicas de Brack (2004) sobrepuestas en el mapa del NDVI para el período jul–81–dic–03. La heterogeneidad del patrón del NDVI al norte del paralelo 9ºS se refleja en la multiplicidad de zonas ecológicas tipificadas por Brack. Por otro lado, las ecozonas siguen el patrón de los Andes en la parte central y sur del país. Es evidente que el mapa del NDVI contiene información valiosa para afinar la posición de los límites de las zonas ecológicas propuestas por Brack, en particular, los límites de la Selva Alta y Selva Baja, y las zonas al norte del paralelo 9.5º S. La Figura 2b muestra los límites de las zonas ecológicas de Brack sobre el mapa de la desviación estándar (DE) del NDVI. La desviación cero corresponde a los desiertos, éstos están bien delimitados por el límite de la zona del Desierto del Pacífico. La Puna y la Serranía Esteparia muestran baja variabilidad. La más alta variabilidad se da en las zonas de selva.

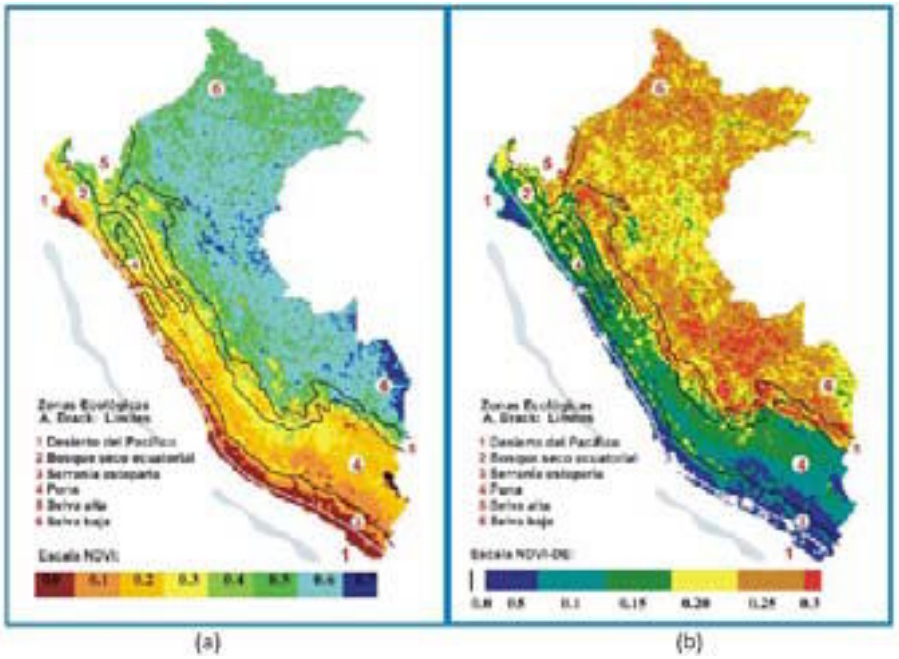


Fig. 2. (a) NDVI promedio: período Julio 1981 a diciembre 2003. (b) Desviación Estándar de la serie temporal de NDVI: periodo Julio 1981 a diciembre 2003, superpuestas están los límites de las zonas ecológicas de Brack (Brack, 2004)

EVOLUCIÓN MENSUAL DEL NDVI EN EL PERÚ

Los datos NDVI mensuales del Perú fueron procesados para el período jul81 a dic03. En la Figura 3, se muestra un ejemplo de las imágenes NDVI mensuales de Perú para el período de un año (ene–dic 2000). La escala de colores indica los valores del NDVI, aumentando desde cero, color marrón en la izquierda, hasta más alto que 0.7, color azul oscuro en la derecha. Las áreas grandes en rojo y naranja, que corresponden a valores NDVI más bajos que 0.3, aparecieron en agosto a diciembre, indicando que la estación seca está centrada en esos 5 meses. Por lo tanto la iniciación y magnitud de la anomalía NDVI negativa dentro de esos cinco meses fue usado para caracterizar el comienzo e intensidad de la sequía.

ANOMALÍAS ESTANDARIZADAS DE NDVI, IOS Y TSM

Los datos de anomalía estandarizada mensual de los índices NDVI, IOS y TSM de Julio 1981 a diciembre 2003 serán usados para desarrollar un procedimiento de predicción de la sequía en región costa norte. En la Figura 4a y 4b, se muestran los gráficos de la serie de tiempo de las anomalías estandarizada NDVI de la Costa Norte versus la anomalía estandarizada de IOS y TSM para la región oceánica 1,2 y 3,4. Según la comparación de la evolución dinámica del NDVI de la costa norte versus la TSM de la región oceánica Niño 3,4 (Fig. 4) fue observado que, en general, los valores de anomalía NDVI responden positivamente a los valores de la anomalía de la TSM de las regiones oceánicas 3,4, especialmente durante los eventos El Niño de 1982/1983, 1986/1987, 1992/1993, 1997/1998 y 2002/2003, donde fueron observados que los picos no son opuestos y en los eventos La Niña de 1984/1985, 1988/1989 y 1999/2000, donde fueron claramente observados que los picos son opuestos.

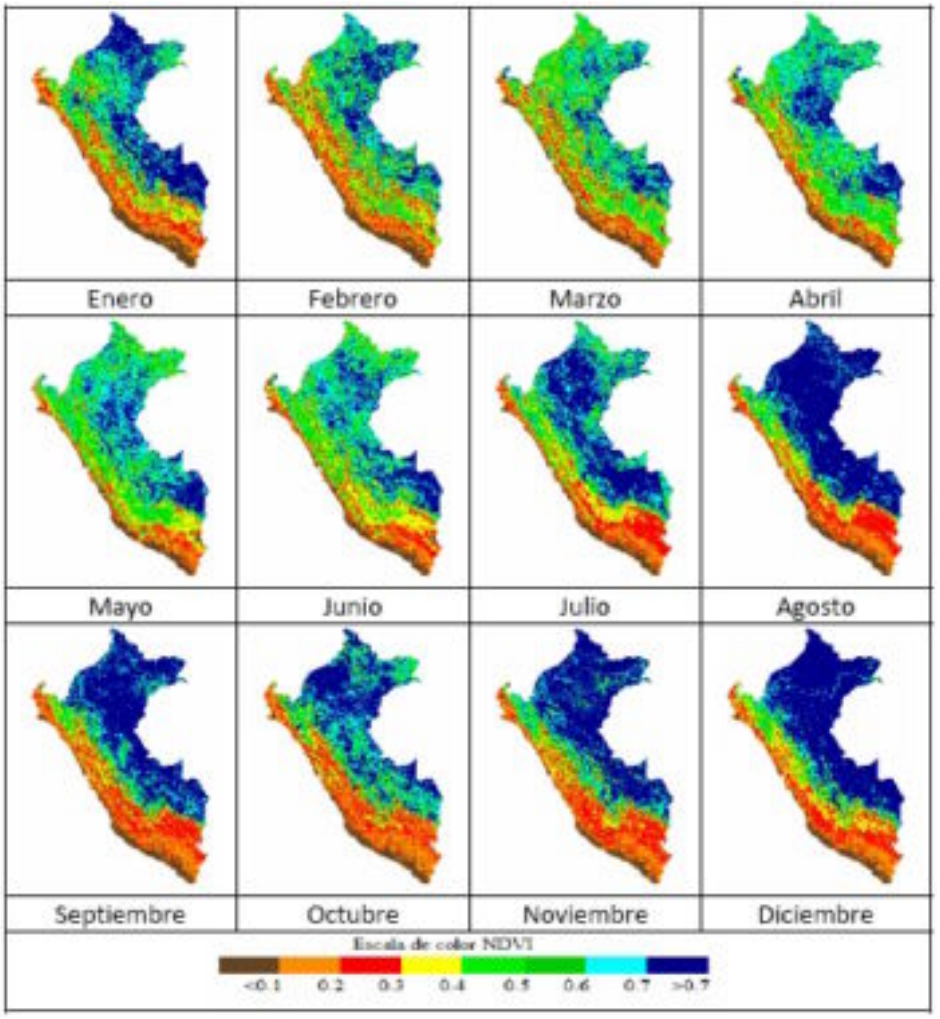
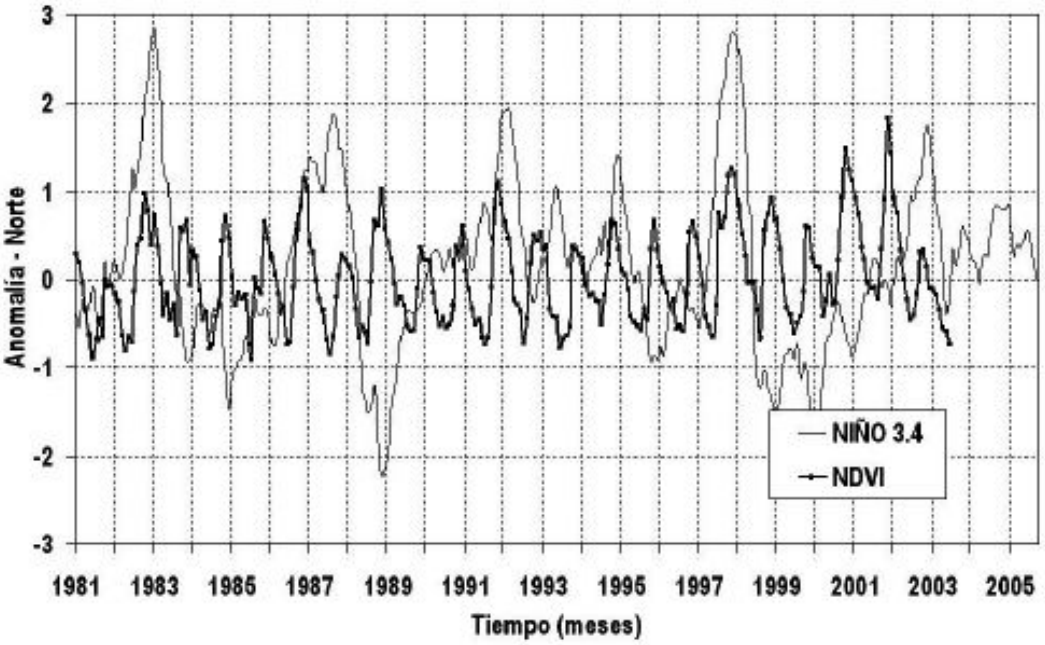
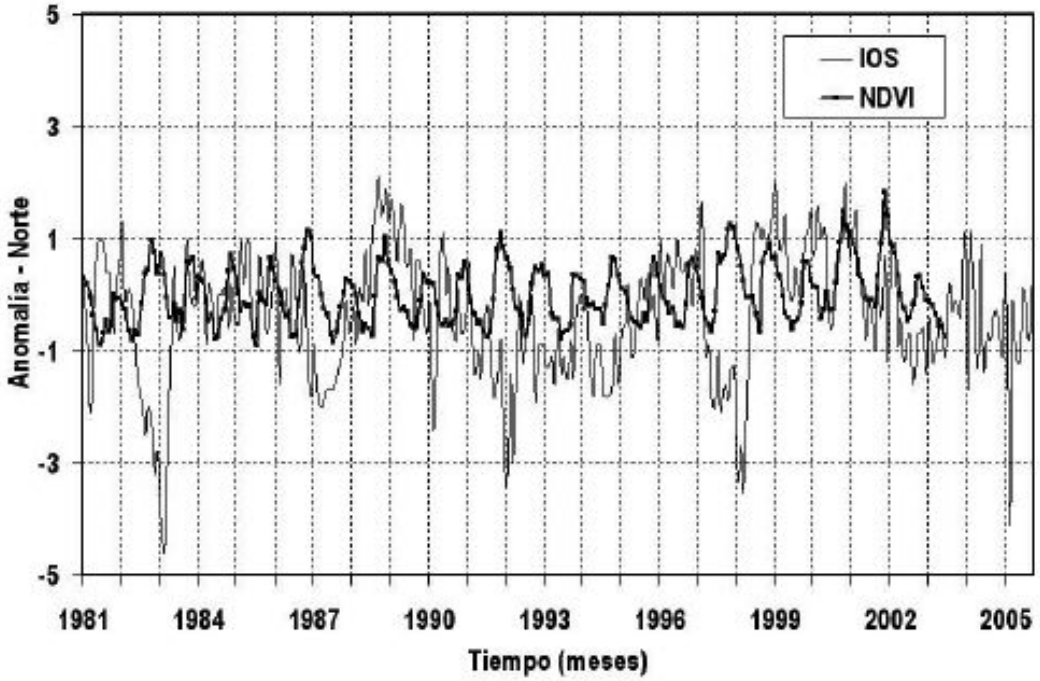


Figura 3. Evolución temporal del NDVI del Perú para el periodo Enero – Diciembre 2000



(a)



(b)

Figura (4a) Anomalía estandarizada del NDVI para la costa norte de Perú y la anomalía estandarizada de la TSM de la región oceánica 3.4 para el período Julio 1981 a diciembre 2003. (4b) Anomalía estandarizada del NDVI de la costa norte de Perú y la anomalía IOS (Julio 1981 a diciembre 2003).

Tabla 1 – Matriz de correlación para la región costa norte. Los valores en negrita son significativamente diferentes de 0 con un nivel de significación α=0.05

Variables	Regiones	NDVI	TSM de las regiones oceánicas										
		Costa Norte	Niño1,2	Niño 3	Niño 4	Niño3.4	NATL	SATL	TROP	SOI	SHIP1	DIP1	DIP2
NDVI	Norte	1	**0.252**	**0.158**	0.000	0.091	0.153	0.042	**0.243**	-0.125	**0.255**	0.083	-0.083
TSM de las regiones oceánicas	Niño1+2	**0.252**	1	0.821	0.393	0.642	0.219	-0.192	0.716	-0.494	0.974	0.312	-0.312
	Niño 3	**0.158**	0.821	1	0.704	0.942	0.141	-0.144	0.871	-0.695	0.781	0.216	-0.216
	Niño 4	0.000	0.393	0.704	1	0.867	0.110	-0.222	0.734	-0.667	0.382	0.253	-0.253
	Niño3.4	0.091	0.642	0.942	0.867	1	0.087	-0.163	0.844	-0.762	0.620	0.190	-0.190
	NATL	0.153	0.219	0.141	0.110	0.087	1	0.131	0.420	0.052	0.200	0.652	-0.652
	SATL	0.042	-0.192	-0.144	-0.222	-0.163	0.131	1	0.064	0.181	-0.216	-0.666	0.666
	TROP	**0.243**	0.716	0.871	0.734	0.844	0.420	0.064	1	-0.579	0.674	0.267	-0.267
	SOI	-0.125	-0.494	-0.695	-0.667	-0.762	0.052	0.181	-0.579	1	-0.511	-0.099	0.099
	SHIP1	**0.255**	0.974	0.781	0.382	0.620	0.200	-0.216	0.674	-0.511	1	0.316	-0.316
	DIP1	0.083	0.312	0.216	0.253	0.190	0.652	-0.666	0.267	-0.099	0.316	1	-1.000
	DIP2	-0.083	-0.312	-0.216	-0.253	-0.190	-0.652	0.666	-0.267	0.099	-0.316	-1.000	1

En la Tabla 1 se muestran los coeficientes de correlación del NDVI y los índices ENOS para la región Costa Norte, en el periodo 1981–2003. Muchos investigadores han considerado que el Clima en la Costa Norte de Perú esta influenciado por varios sistemas de circulación atmosférica aumentado por la TSM en varias regiones y originadas desde el Océano Pacifico. Estos sistemas influenciadotes son a menudo cuantificados por los índices ENOS. Por lo tanto, en este estudio, los índices ENOS con un valor r más alto que 0.2 fueron seleccionados como un factor del comienzo de la sequía para la construcción del modelo. De acuerdo a la Tabla 1, los índices ENOS, incluidos TSM de la región oceánica Niño 3,4 y IOS fueron usados para desarrollar los modelos del comienzo de la sequía ENOS. Con la finalidad de verificar que las series de tiempo de cada variable presentan un patrón distinto de variación anual cíclica o no, los valores de la autocorrelación (r) y los limites de control de las variables han sido obtenidos a partir del análisis de autocorrelación de las series de tiempo. En la Tabla 2 se muestra el análisis de autocorrelación de las series de tiempo, en comparación con los coeficientes de correlación (r) y los límites de control (±CL) del NDVI, TSM en las regiones oceánicas Niño 1+2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3,4; TSM en el Atlántico Norte (NATL), TSM en el Atlántico Sur (SATL), TSM en el Trópico (TROP), Índice de Oscilación Sur (IOS), TSM en la Trayectoria 1 (SHIP 1), TSM en Dipolo 1 (NATL – SATL) y dipolo 2 (SATL, NATL). La Tabla 2 muestra que todas las variables seleccionadas tienen valores de r mayores que el valor del límite de control (Control Limit – CL) al menos con cinco meses de desfase en el tiempo (ver filas de Lag 1 – 5). Esto demuestra que todas estas variables de serie de tiempo tienen una cierto patrón de variación cíclico predecible.

Tabla 2 – Análisis de autocorrelación por comparación del NDVI y los índices ENOS

Lag	NDVI		TSM de Regiones Oceánicas									
			Niño 1+2		Niño 3		Niño 4		Niño 3.4		IOS	
	r	±CL	r	±CL	r	±CL	r	±CL	r	±CL	r	±CL
1	0.575	0.119	0.930	0.119	0.945	0.119	0.958	0.119	0.955	0.119	0.712	0.119
2	0.488	0.154	0.822	0.197	0.851	0.199	0.897	0.201	0.875	0.200	0.619	0.169
3	0.346	0.174	0.714	0.241	0.749	0.245	0.828	0.252	0.775	0.249	0.540	0.199
4	**0.329**	**0.184**	**0.612**	**0.269**	**0.645**	**0.276**	**0.748**	**0.288**	**0.665**	**0.281**	**0.446**	**0.219**
5	**0.221**	**0.192**	0.520	0.289	0.533	0.297	0.661	0.314	0.548	0.303	0.366	0.231
6	0.181	0.196	0.433	0.302	**0.419**	**0.310**	0.579	0.333	**0.426**	**0.317**	**0.297**	**0.239**
7	0.098	0.198	**0.347**	**0.310**	0.304	0.318	0.505	0.347	0.309	0.325	0.224	0.245
8	0.061	0.199	0.257	0.316	0.190	0.322	**0.430**	**0.358**	0.198	0.329	0.147	0.248
9	0.015	0.199	0.171	0.319	0.088	0.324	0.359	0.365	0.101	0.331	0.113	0.249
10	-0.054	0.199	0.098	0.320	0.005	0.324	0.293	0.370	0.027	0.331	0.048	0.249

Modelo de Sequía ENOS

En este trabajo estamos considerando que las anomalías negativas del NDVI infieren sequía como una función del tiempo y de los índices ENOS. Los índices ENOS con un coeficiente de correlación (r) mayores que 0.2 han sido seleccionados como variables independientes. El proceso de correlación fue realizado, primero, usando el mismo mes de NDVI e índice ENOS y luego por dislocación el NDVI con un desfase de tiempo de un mes con la finalidad de elegir el correcto desfase de tiempo para producir el más alto coeficiente de correlación. Siguiendo este proceso un conjunto de coeficientes de correlación fueron obtenidos mientras las series de tiempo de anomalías de los índices ENOS de julio 1981 a diciembre 2003 se correlacionaron con la serie de las anomalías del NDVI de julio 1981 a diciembre de 2003. Los resultados muestran que los valores de r para NDVI/TSM(Niño1+2), NDVI/TSM(NATL), NDVI/TSM(SHIP−1) y NDVI/TSM(TROP) fueron 0.317, 0.316, 0.244 y 0.323 respectivamente.

Modelo 1. El primer modelo ha sido construido usando los datos de la anomalía estandarizada del NDVI de la costa norte de Perú como variable dependiente y las anomalías estandarizadas de la TSM de las regiones Niño1+2, SHIP1 y TROP (Figura 5a) como variables independientes. Los datos usados han sido el NDVI de cuatro meses (Julio a diciembre en el periodo 1981 – 1988). Este modelo muestra un coeficiente de regresión (R2) de 0.264 a un nivel de significancia de 1%. La ecuación del Modelo 1 esta dado por:

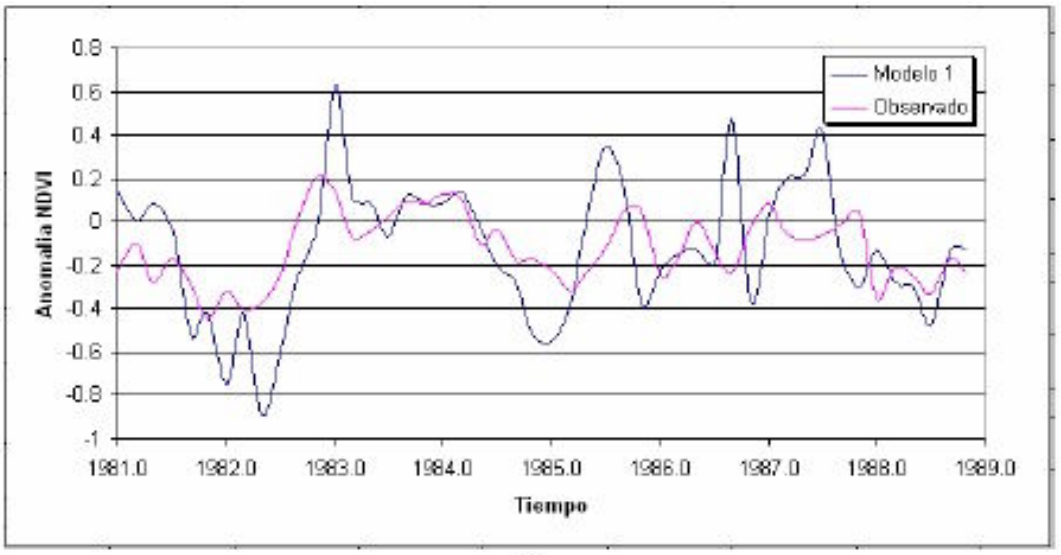
$$NDVI = -0.146 - 0.551 \times TSM(R-Niño1+2) + 0.596 \times TSM(R-SHIP1) + 0.22 \times TSM(R-TROP)$$

Modelo 2. El segundo modelo ha sido construido usando los datos de la anomalía estandarizada del NDVI de la Costa Norte como variable dependiente y la anomalía estandarizada de los índices de la TSM de las regiones Niño1+2, SHIP1, TROP y NATL como variables independiente. Los datos usados han sido el NDVI de seis meses (Julio a diciembre en el periodo 1981 – 1988). Este modelo muestra un coeficiente de regresión (R2) de 0.35 a un nivel de significancia de 1%. La Figura 5b muestra el modelo observado y el simulado. La ecuación del Modelo 2 esta dado por:

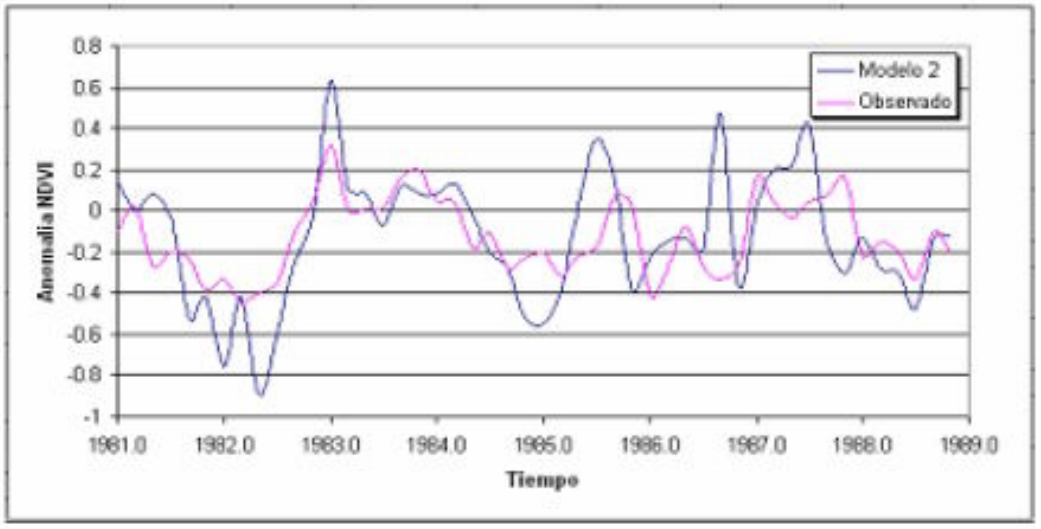
$$NDVI = -0.123 - 0.578 \times TSM(R-Niño1+2) + 0.664 \times TSM(R-SHIP1) - 0.007 \times TSM(R-TROP) + 0.332 \times TSM(R-NATL)$$

Modelo 3. El modelo 3 ha sido construido usando los datos de la anomalía estandarizada del NDVI de la Costa Norte como variable dependiente y la anomalía estandarizada de los índices de la TSM de las regiones Niño1+2, SHIP1 y NATL como variable independiente. Los datos usados han sido el NDVI de seis meses (Julio a diciembre en el periodo 1981 – 1988). Este modelo muestra un coeficiente de regresión (R2) de 0.35 a un nivel de significancia de 1%. La Figura 5c muestra el modelo observado y el simulado. La ecuación del Modelo 3 esta dado por:

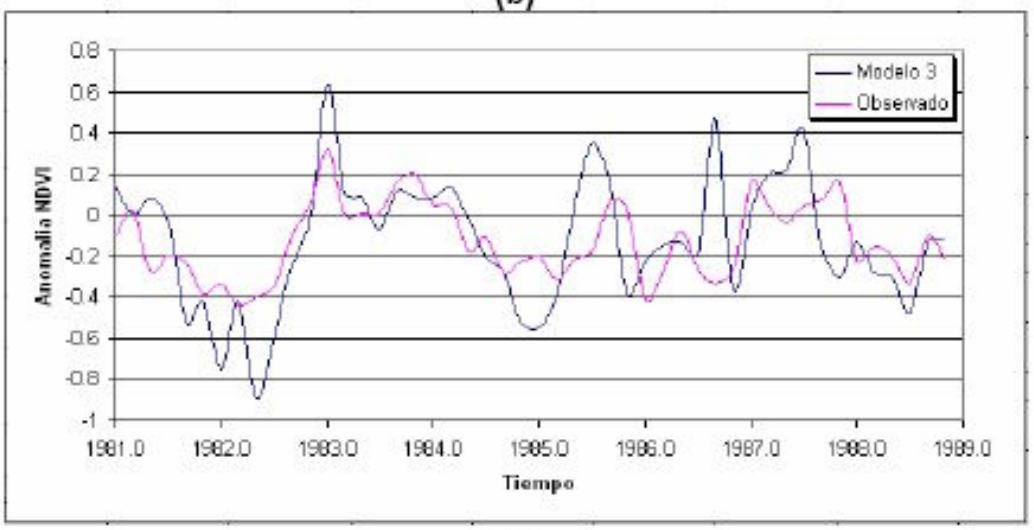
$$NDVI = -0.123 - 0.580 \times TSM(R-Niño1+2) + 0.665 \times TSM(R-SHIP1) + 0.33 \times TSM(R-NATL)$$



(a)



(b)



(c)

Figura 5a. Modelo 1 de predicción del inicio de la sequía en la Costa Norte. (5b). Modelo 2 de predicción del inicio de la sequía en la Costa Norte. (5c). Modelo 3 de predicción del inicio de la sequía en la Costa Norte.

CONCLUSIONES

El NDVI promedio, de todos los píxel de 8 x 8 km2, de todo Perú varía de 0.0 a 0.7. En la costa el NDVI promedio, es muy bajo: cerca de cero. La sierra, esta dividida en dos sub−regiones: la parte norte: el NDVI es mayor (cerca de 0.4), la parte sur el NDVI es menor (cerca de 0.1). En la selva peruana el NDVI es mayor que en las regiones costa y sierra (de 0.5 a 0.7). La desviación estándar (DE) del NDVI muestra que en la costa la DE es muy pequeño, cerca de 0.0. En la sierra varía de norte a sur desde 0.05 a 0.2. En la selva la DE es mayor y varía desde 0.15 a 0.3. La evolución mensual del NDVI del año 2000 en todo Perú presentó baja variabilidad durante todo el año en la costa. En la sierra, el NDVI en el norte varió desde 0.4 a 0.5 y en el sur varió desde 0.1 a 0.3. Finalmente, el NDVI de la selva varió entre 0.5−0.7. Los valores NDVI simulados concuerdan muy bien con los valores observados de 1981 a 1989 para los tres modelos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Vicerrectorado de Investigación de la UNMSM en el año 2006 y por programa INCAGRO del Ministerio de Agricultura en los años 2007−2009.

REFERENCIAS

Brack, A. (2004). Ecología. Enciclopedia Temática del Perú. Editora El Comercio, Lima, Perú. Pp 190.

Cane, M., Zebiak, S., and Dolan, S., (1986). Experimental forecast of El Niño. Nature, 321, 827–832.

CPC-NOAA (2008) – El Niño – Southern Oscillation (ENSO). Climate Prediction Center. http:/ /www.cpc.noaa.gov/products /analysis_monitoring/ensostuff/nino_regions.shtml

Di, L., Rundquist, D. C., and Han, L., (1994). Modeling relationship between NDVI and precipitation during vegetative growth cycles. International Journal of Remote Sensing, 15, 2121–2136.

GLCF, (2008) - Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS) http://glcf.umiacs.umd.edu/data/gimms/

Justiniano, H., y J. Luna. (2005). "Análisis de sequías aplicación a la cuenca del Lago Poopo, Bolivia – Oruro". Tesis de Licenciado en Ingeniería Civil. Universidad Mayor de San Andrés, 143 Pág.

Justice, C. O., Townshend, J. R., Holben, B. N., and Tucker, C. J., (1985). Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. International Journal of Remote Sensing, 6, 1271–1318.

Kogan, F., and Sullivan, J., (1993). Development of global droughts-watch system using NOAA/AVHRR data. Advanced Space Research, 13, 219–222.

Kogan, F.N., (1997). Global drought watch from space. Bulletin of the American Meteorological Society, 78:621–636.

Kogan, F., (1990). Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. International Journal of Remote Sensing, 11, 1405–1419.

Kogan, F. and J. Sullivan, (1993). Development of global drought-watch system using NOAA/AVHRR data. Adv. Space Res. Vol. 13, No. 5: 219-222.

Liu, W., Massambani, O., and Nobre, C., (1994). Satellite recorded vegetation response to drought in Brazil. International Journal of Climatology, 14, 343–354.

Liu, W., and Kogan, F., (1996). Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index. International Journal of Remote Sensing, 17, 2761–2782.

Liu, W. T., and Ferreira, A., (1991). Monitoring crop production regions in the Sao Paulo State of Brazil using normalized difference vegetation index. Proceeding of the 24th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Rio de Janeiro, 27–31 May, Vol. 2 (Chicago: ERIM), pp. 447–455.

Liu W.T. y Negron R. I. (2001). ENOS drought onset prediction in northeast Brazil using NDVI. Int. J. Remote Sensing, 2001, vol. 22, no. 17, 3483–3501

Menenti, M., Azzali, S., Verhoef, W., and Van Swol, R., (1993). Mapping agroecological zones and time lag in vegetation growth by means of Fourier analysis of time series of NDVI images. Advanced Space Research, 13, 233–237.

Prince, S. D., (1991). Satellite remote sensing of primary production: comparison of results for Sahelian grassland 1981–1988. Int. J. of Remote Sensing, 12, 1301–1312.

Rasmusson, E. J., and Wallance, J.M., (1983). Meteorological aspects of the El Niño/Southern Oscillation. Science, 112, 1195–1202.

Stoeckenius, T., (1981) Interannual variations of tropical precipitation patterns. Monthly Weather Review, 109, 1233–1247.

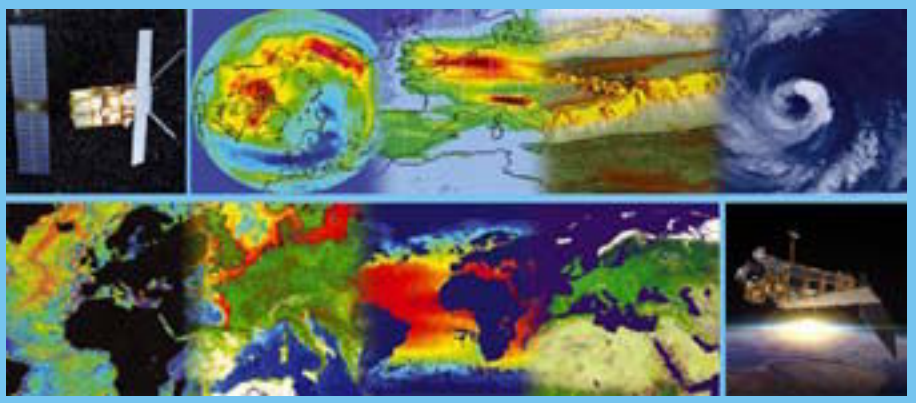
Trenberth, K, (1997). The definition of El Niño. Bulletin of American Meteorology Society, 78, 2771–2777.

Tucker, C. J., Townshend, J. R., and Goff, T. R., (1985). African land- cover classification using satellite data. Science, 227, 369–375.

Tucker, C.J., J.E. Pinzon, and M.E. Brown (2004), Global Inventory Modeling and Mapping Studies, NA94apr15b.n11-VIg, 2.0, Global Land Cover Facility, University of Maryland, College Park, Maryland, 04/15/1994.

Walker, G. T., (1923). Correlation in seasonal variations of either, VIII. A preliminary study of world

Wilks, D. S., (1995). Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. International Geophysics Series, Vol. 59 (New York: Academic).



ESA promueve el desarrollo y la cooperación internacional

... y Envisat sigue observando el lugar del próximo simposio (arriba izquierda)

ESA - ESRIN
Via Galileo Galilei,
Casella Postale 64.
00044 Frascati (Roma)
ITALIA
Tel: (39.06) 94180.409
Fax: (39.06) 94180.280
Att: Sr. Francesco Sarti (América Latina)

ESA - Asuntos Internacionales
8-10 rue Mario Nikis,
75738 PARIS Cedex 15, FRANCIA
Tel: (33.1) 5369.7731, Fax: (33.1) 5369.7627
Att: Sra. Marie Elisabeth De Vel (América Latina)